

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

Rec'd PCT/PTO 09 MAR 2005



(11)

EP 1 113 711 A2

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(51) Int Cl.7: H05H 1/34

(21) Anmeldenummer: 00128326.6

(22) Anmeldetag: 22.12.2000

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: GTV-Gesellschaft für thermischen
Verschleiß-Schutz mbH
57629 Luckenbach (DE)

(72) Erfinder: Peschka, Walter, Prof. Dr.
71065 Sindelfingen (DE)

(30) Priorität: 31.12.1999 DE 19963904

(74) Vertreter: Hoeger, Stellrecht & Partner
Uhlandstrasse 14 c
70182 Stuttgart (DE)

(54) Plasmabrenner und Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls

(57) Um einen Plasmabrenner mit einer Brennkammer, in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist, zu schaffen, welcher variabel einsetzbar ist, wird vorgeschlagen,

daß die Brennkammer eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgend angeordnet sind, wobei jede einzelne Brennkammer-Elektrode individuell strombeaufschlagbar ist.

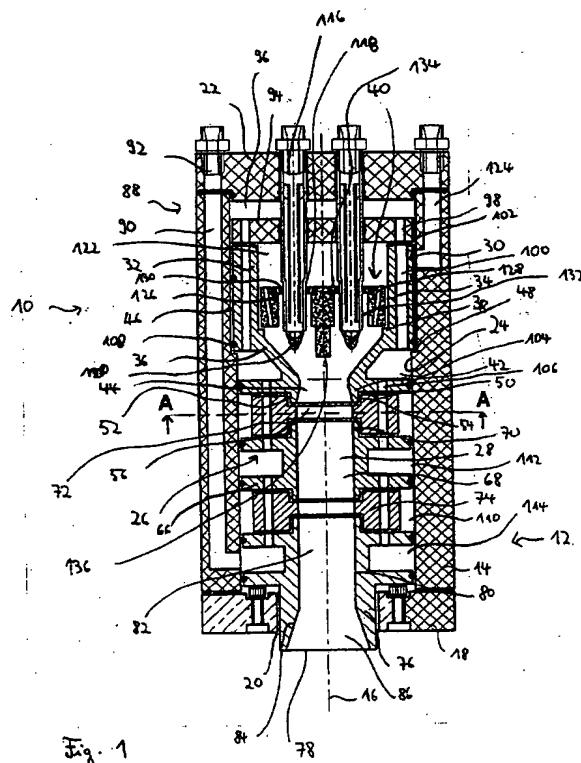


Fig. 1

EP 1 113 711 A2

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Plasmabrenner mit einer Brennkammer, in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist.

[0002] Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls, bei welchem in einer Brennkammer ein Lichtbogen zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode erzeugt wird.

[0003] Solche Vorrichtungen und Verfahren sind beispielsweise aus der DE 41 05 407 C2, der DE 41 05 408 C1, der DE 195 40 587 A1, der EP 0 249 238 A2 oder der EP 0 529 850 A2 bekannt.

[0004] Aus der EP 0 436 576 B1 ist eine Vorrichtung zum Erzeugen von Entladungsbögen bekannt, die eine erste Elektrode und zumindest zwei weitere Elektroden umfaßt, wobei mittels einer Steuereinrichtung der Weg des Bogens zwischen der ersten Elektrode und den weiteren Elektroden verändert werden kann.

[0005] Plasmabrenner werden beispielsweise eingesetzt für Plasmasprayverfahren zur Beschichtung von Werkstoffen, wobei einem Plasmastrahl ein Pulver zugeführt wird.

[0006] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Plasmabrenner der gattungsgemäßen Art zu schaffen, welcher variabel und universell einsetzbar ist und insbesondere umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten aufweist.

[0007] Diese Aufgabe wird beim Plasmabrenner der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgend angeordnet sind und daß jede einzelne Brennkammer-Elektrode individuell elektrisch ansteuerbar und insbesondere strombeaufschlagbar ist.

[0008] Durch das erfindungsgemäße Vorsehen einer Mehrzahl von axial angeordneten Brennkammer-Elektroden läßt sich die Stromverteilung in der Brennkammer variabel einstellen und dadurch die Ausbildung des Lichtbogens bei der Bogenentladung gezielt steuern und/oder regeln. Beispielsweise kann, wenn die Brennkammer Anoden umfaßt und mehrere als Kathoden wirkende Elemente vorgesehen sind, eine Kathode dazu dienen, in Zusammenarbeit insbesondere mit der nächstliegenden Anode unter minimalem Energiebedarf den Lichtbogen aufrechtzuerhalten, während die restlichen Kathoden im wesentlichen dazu dienen, den Lichtbogen mittels der anderen Anoden durch die Brennkammer zu führen, um einen optimierten Plasmastrahl zu erzeugen.

[0009] Zur Erzeugung eines Plasmastrahls ist es grundsätzlich notwendig, daß die Brennkammer mindestens an einer Stelle einen verengten Querschnitt aufweist. Im Bereich dieses verengten Querschnitts sind die Brennkammerwände stark thermisch belastet. Erfindungsgemäß läßt sich durch entsprechende Einstellung der Strombeaufschlagung der Elektroden der Plasmastrahl gezielt durch diese Engstelle unter Minimierung der Wandbelastung führen.

[0010] Bei der Zuführung eines Zusatzwerkstoffes, beispielsweise eines Spraypulvers, in den Plasmastrahl wird in der Brennkammer eine Zweiphasenströmung ausgebildet. Bei aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern sind die Steuerbarkeit und/oder Regelbarkeit bezüglich der Zuführung des Zusatzwerkstoffes, beispielsweise dessen Massenanteils, enge Grenzen gesetzt. Bei der erfindungsgemäßen Lösung wird durch die Mehrzahl individuell strombeaufschlagbarer Brennkammer-Elektroden erhöhte Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten vorgegeben, so daß der erfindungsgemäße Plasmabrenner universell einsetzbar ist und insbesondere sich Oberflächenbeschichtungen mit gesteuerten Schichtstrukturen erzeugen lassen, die bisher mit aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern nicht herstellbar waren.

[0011] Insbesondere können mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner Beschichtungen hergestellt werden, bei denen der Zusatzwerkstoff als Beschichtungsmaterial, welches in die Brennkammer eingeführt wird, während des Betriebs selber variiert werden kann, da die individuell strombeaufschlagbaren Elektroden eine entsprechende Steuerung und/oder Regelung ermöglichen. Zudem läßt sich eine größere Variabilität bezüglich der Zuführung der einzelnen Zusatzwerkstoffanteile erreichen.

[0012] Bevorzugterweise handelt es sich bei den Brennkammer-Elektroden um Anoden. Es können beispielsweise aber auch Drehströme zwischen Elektroden und Gegenelektroden angewandt werden, so daß in diesem Fall die Brennkammer-Elektroden auch mindestens teilweise als Kathoden wirken können und die Gegenelektroden, die sonst als Kathoden wirken, als Anode.

[0013] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden jeweils ein Isolierelement angeordnet ist. Die Brennkammer-Elektroden werden dadurch elektrisch getrennt, so daß die individuelle Strombeaufschlagbarkeit jeder einzelnen Brennkammer-Elektrode gewährleistet ist. Die Isolierelemente lassen sich dabei insbesondere auch als Zuführeinrichtungen für Zusatzwerkstoff in die Brennkammer ausbilden, so daß auf konstruktiv einfache Weise Zusatzwerkstoff dem Plasmastrahl zuführbar ist.

[0014] Günstigerweise ist ein Isolierelement aus einem gut wärmeleitenden metallischen Material hergestellt. Durch einen elektrisch nicht leitenden Überzug wird dann die elektrische Isolierungseigenschaft bereitgestellt, während das Isolierelement weiterhin gut Wärme abführen kann.

[0015] Insbesondere kann es vorgesehen sein, daß in einem Innenraum des Isolierelements ein Abstandsring angeordnet ist. Dieser ist insbesondere aus einem hochtemperaturbeständigen, elektrisch isolierenden

Material gefertigt, und über seine axiale Höhe ist der Abstand benachbarter Brennkammer-Elektroden bestimmt und läßt sich durch entsprechende Auswahl des Abstandsringes einstellen.

[0016] Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein Isolierelement mit einer benachbarten Brennkammer-Elektrode verlötet ist, um eine Abdichtung zu erhalten. Die Brennkammer-Elektroden müssen üblicherweise mit einem Kühlmittel wie Wasser gekühlt werden, und die abdichtende Verlotung verhindert, daß Kühlmittel in die Brennkammer eindringen kann. Die Abdichtung ermöglicht damit auch eine bessere Kühlung der Anode und gewährleistet damit eine hohe Standzeit des erfindungsgemäßen Plasmabrenners.

[0017] Vorteilhafterweise sind dabei das Material für eine Brennkammer-Elektrode und das Material für ein damit zu verbindendes Isolierelement so gewählt, daß die Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode aneinander angepaßt ist. Aufgrund der hohen Temperaturen in der Brennkammer kann eine zu starke unterschiedliche Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode zu einem Bruch oder zumindest zu Undichtigkeiten in der Lötstelle führen ("thermal mismatch"). Werden die Materialien entsprechend gewählt, so läßt sich dies weitgehend vermeiden. Üblicherweise wird als Brennkammer-Elektrodenmaterial Kupfer verwendet. Das Isoliermaterial kann dann beispielsweise kristallines Aluminiumoxid, Saphir, Magnesit oder Siliziumkarbid sein oder auch eine Aluminium-Hartlegierung, wie AlMgSi1,5, die eloxiert ist.

[0018] Es kann zur Vermeidung eines solchen "thermal mismatch" ein Puffer zwischen einer Brennkammer-Elektrode und einem zu verbindenden Isolierelement aus einem Puffermaterial vorgesehen sein, welches einen Wärmedehnungskoeffizienten zwischen dem des Materials des Isolierelements und dem des Materials der Anode aufweist. Dieser Puffer stellt einen Ausgleich dar, der einen Bruch der Lötstelle aufgrund der unterschiedlichen Wärmeausdehnung von Brennkammer-Elektrode und Isolierelement verhindert.

[0019] Das Puffermaterial ist dabei insbesondere mittels Sprengplattierung auf die Brennkammer-Elektrode und/oder das Isolierelement aufgebracht. Durch stoßartige Druckwellen hoher Energie können Verbundsysteme einer Vielzahl von Werkstoffen erzeugt werden, so daß für das Puffermaterial eine entsprechend große Auswahl besteht; es ist dann ein optimales Material wählbar, um den Ausgleich zwischen den unterschiedlichen Wärmedehnungskoeffizienten von Isolierelement und Anode über den Puffer zu erreichen.

[0020] Vorteilhafterweise ist die Brennkammer rotationssymmetrisch um eine Brennkammerachse ausgebildet, um Brennkammerwände nicht ungleichmäßig zu belasten.

[0021] Um den erfindungsgemäßen Plasmabrenner variabel einsetzen zu können, ist günstigerweise die Brennkammer als Plasmadüse für einen Plasmastrahl

ausgebildet. Dieser Plasmastrahl kann dann gezielt auf ein Werkstück gerichtet werden, beispielsweise zum Schneiden oder Schweißen oder, wenn ein Zusatzwerkstoff eingeführt wird, zum Beschichten.

[0022] Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, als Elektrode ausgebildet ist. Der engste Querschnitt dient zur Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Arbeitsgases, um einen definierten Plasmastrahl zu erzeugen. Beispielsweise kann eine Bogenentladung zwischen einer Kathode und dieser Anode erzeugt werden, welche im wesentlichen dazu dient, den Bogen aufrechtzuerhalten; über die restlichen Anoden kann dann der Bogen gezielt durch die Brennkammer geführt werden, um entsprechend den Plasmastrahl "elektrisch" zu führen.

[0023] Bei einer alternativen Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners ist es vorgesehen, daß ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, nicht als Elektrode ausgebildet ist und/oder nicht als Elektrode wirkt. Dadurch wird der Lichtbogen durch den engsten Querschnitt hindurchgeführt und setzt erst nach diesem engsten Querschnitt an einer Elektrode an. Dadurch wird die thermische Belastung an diesem engsten Querschnitt als kritischen Bereich erheblich verringert, so daß der Plasmabrenner insgesamt eine längere Standzeit aufweist bzw. gegenüber aus dem Stand der Technik bekannten Plasmabrennern bei gleicher Standzeit mit erhöhter Leistung betrieben werden kann.

[0024] Günstigerweise ist dabei bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem Düsensegment, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, ein Düsensegment angeordnet, welches als Elektrode ausgebildet ist. An dieser Elektrode kann dann der Lichtbogen ansetzen.

[0025] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Zusatzwerkstoff in die Brennkammer einführbar ist. Dadurch läßt sich eine hohe Variabilität insbesondere bezüglich der Anwendung des erfindungsgemäßen Plasmabrenners bei der Beschichtung von Werkstoffen erreichen.

[0026] Vorteilhafterweise erfolgt dabei die Zuführung des Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem engsten Querschnitt der Brennkammer. Der Zusatzwerkstoff, welcher in die Brennkammer eingeführt wird, hat grundsätzlich eine abrasive Wirkung bezüglich Brennkammerwänden. Der kritischste Bereich in der Brennkammer bezüglich einer Wandbelastung ist der engste Querschnitt. Durch das Einführen des Zusatzwerkstoffes nach dem engsten Querschnitt wird diese zusätzliche Belastung an dem engsten Querschnitt vermieden, wobei die erfindungsgemäße Anordnung einer Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden, die individuell strombeaufschlagbar sind, gerade die Zuführungsmöglichkeit nach dem engsten Querschnitt gewährleistet.

[0027] Vorteilhafterweise ist der Zusatzwerkstoff quer zu einer Brennkammerachse in die Brennkammer einführbar und insbesondere im wesentlichen senkrecht zur Brennkammerachse einführbar. Dadurch wird gewährleistet, daß der Zusatzwerkstoff von dem Plasmastrahl mitgenommen wird, da dieser durch den Zusatzwerkstoffstrom hindurchtritt. Insbesondere ist dadurch vermieden, daß "unverarbeiteter" Zusatzwerkstoff direkt auf das Werkstück fallen kann und so beispielsweise Fehlstrukturen der Beschichtung auftreten können. (Es ist zu bedenken, daß für Beschichtungsanwendungen der Zusatzwerkstoff üblicherweise ein Pulver ist.)

[0028] Günstigerweise ist der Zusatzwerkstoff in die Brennkammer quer zu einer radialen Richtung einführbar und insbesondere tangential zu einer Azimutalrichtung. Dadurch ist dem Zusatzwerkstoff beim Eintritt in die Brennkammer ein Drall erteilbar, durch den die Aufnahme in dem Plasmastrahl und Mitnahme mit dem Plasmastrahl erhöhbar ist.

[0029] Günstigerweise ist zum Einblasen von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer ein Transportmedium wie eine Transportflüssigkeit oder ein Transportgas in die Brennkammer einleitbar. Dieses Transportmedium kann dann den Zusatzwerkstoff, beispielsweise ein Pulver, in die Brennkammer einblasen. Bei dem Transportgas handelt es sich insbesondere um ein inertes Gas wie Argon, Helium oder Neon. Es werden auch Versuche mit reaktiven Gasen wie Methan durchgeführt.

[0030] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Mehrzahl von Zuführungseinrichtungen vorgesehen ist, durch welche Zusatzwerkstoff in die Brennkammer einführbar ist, wobei die Zuführungseinrichtungen axial beabstandet sind und die Zuführung durch die jeweiligen Zuführungseinrichtungen unabhängig voneinander durchführbar ist. Dadurch läßt sich an verschiedenen Stellen der Brennkammer Zusatzwerkstoff einblasen und insbesondere lassen sich auch verschiedene Zusatzwerkstoffmaterialien einblasen. Durch entsprechende Auswahl der Zusatzwerkstoffe und der Einblasstellen läßt sich dann im Zusammenhang mit einer entsprechenden Steuerung und/oder Regelung der Strombeaufschlagung der Elektroden ein "Mischstrahl" auf ein Werkstück richten, so daß beispielsweise bei einem Beschichtungsvorgang eine definierte Schichtstruktur bildbar ist, die mehrere Beschichtungsmaterialien umfaßt.

[0031] Bei einer Variante einer Ausführungsform umfaßt die Brennkammer eine Mehrzahl von Anoden als Brennkammer-Elektroden. Insbesondere ist dann eine Gegenelektrode dazu eine Kathode.

[0032] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn eine Mehrzahl von Gegenelektroden zu den Brennkammer-Elektroden vorgesehen ist, um umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten zu erhalten.

[0033] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Anzahl von Gegenelektroden der Anzahl der Brennkammer-Elektroden entspricht. Dadurch läßt sich jeder Kathode eine Anode bzw. umgekehrt zuordnen und eine

entsprechende Stromversorgung dieser zugehörigen Elektrodenpaare ausbilden. Ein solches Elektrodenpaar ist dann bezüglich der anderen Elektrodenpaare unabhängig mit Spannung versorgt, so daß dadurch jede Brennkammer-Elektrode individuell strombeaufschlagbar ist.

[0034] Es ist günstig, wenn die Gegenelektroden symmetrisch zu den Brennkammer-Elektroden bezüglich einer Brennkammerachse angeordnet sind. Dadurch ist zum einen die Steuerung und/oder Regelung nicht eingeschränkt und zum anderen werden ungleichmäßige Kammerwandbelastungen der Brennkammer vermieden. Insbesondere können drei Kathoden vorgesehen sein.

[0035] Um der Brennkammer gleichmäßig Arbeitsgas zuführen zu können, ist günstigerweise ein zentraler Zuführungskanal vorgesehen.

[0036] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Pufferspeicher für das Arbeitsgas vorgesehen ist. Dieser Pufferspeicher, welcher zwischen der Brennkammer und einer Arbeitsgasquelle angeordnet ist, dient dazu, Druckschwankungen bei der Arbeitsgaszuführung von der Quelle her auszugleichen, so daß der Brennkammer ständig gleichmäßig Arbeitsgas mit einem im wesentlichen konstanten Druck zugeführt wird und somit der erfindungsgemäße Plasmabrenner eine hohe Betriebsstabilität aufweist.

[0037] Bei einer vorteilhaften Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß das Arbeitsgas zur Gegenelektrodenkühlung einsetzbar ist. Dadurch wird die Standzeit des erfindungsgemäßen Plasmabrenners erhöht, da über die zusätzliche Gegenelektrodenkühlung durch das Arbeitsgas der Abbau der Gegenelektrode verlangsamt wird.

[0038] Günstigerweise ist dazu ein Gegenelektrodenhalter vorgesehen, der einen oder mehrere Kanäle umfaßt, durch die Arbeitsgas der Brennkammer zuführbar ist. Über den Gegenelektrodenhalter läßt sich dann auch Arbeitsgas zur Kühlung der Gegenelektrode zuführen und insbesondere läßt sich diese mit Arbeitsgas umströmen. Dazu ist günstigerweise in dem Gegenelektrodenhalter um eine Gegenelektrode ein im Querschnitt ringartiger Spalt gebildet, so daß Arbeitsgas, welches aus dem Gegenelektrodenhalter austritt, in einer Ringströmung fließt und damit die Gegenelektrode umströmen kann. Es wird dann eine optimale Kühlwirkung erzielt.

[0039] Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß ein im Querschnitt ringartiger Spalt kegelförmig ausgebildet ist mit einer Neigung in Richtung der Gegenelektrode. Es wird dadurch erreicht, daß das Arbeitsgas die Gegenelektrode umströmt und an ihr entlangströmt, um Wärme abzuführen.

[0040] Günstigerweise sind der oder die Kanäle des Gegenelektrodenhalters in Richtung der Brennkammerachse geneigt. Dadurch erhält das Arbeitsgas beim Austritt in die Brennkammer einen Drall, der zur Verbesserung der Vermischung des Zusatzwerkstoffes in ei-

nen Plasmastrahl dient. Es ist also günstig, wenn beim Eintritt des Arbeitsgases in die Brennkammer ein Drall erzeugbar ist. Insbesondere läßt sich der Grad der Turbulenz der Strömung im Brennraum durch den dem Arbeitsgas erteilten Drall steuern.

[0041] Dieser Drall kann gleichsinnig oder gegensinnig zur Strömungsrichtung eines Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer sein. Dies richtet sich nach der speziellen Anwendung, je nachdem was günstiger ist.

[0042] Bei einer Variante einer Ausführungsform ist es vorgesehen, daß eine Gegenelektrode zu den Brennkammer-Elektrode bezüglich des Brennraums in ihrer axialen Stellung verschieblich ist. Dadurch läßt sich die Gestalt des Lichtbogens optimieren, indem entsprechend insbesondere der Abstand einer Kathode als Gegenelektrode zu dem engsten Querschnitt verändert wird. Es läßt sich dadurch auch ein Kathodenabbrand aufgrund des Betriebs des erfindungsgemäßen Plasmabrenners berücksichtigen.

[0043] Insbesondere ist es dabei vorteilhaft, wenn eine Gegenelektrode während des Betriebs der Plasmabrennvorrichtung verstellbar ist, um so eine weitere Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit zu erhalten.

[0044] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn die Strombeaufschlagung jeder Brennkammer-Elektrode unabhängig von der der anderen Brennkammer-Elektroden und insbesondere der Stromfluß zu jeder Brennkammer-Elektrode von demjenigen zu den anderen Brennkammer-Elektroden einstellbar und steuerbar und/oder regelbar ist. Dadurch läßt sich der erfindungsgemäße Plasmabrenner universell einsetzen und man erhält eine hohe Variabilität bezüglich möglicher Anwendungen.

[0045] Günstigerweise ist dabei eine Gleichstromversorgung und insbesondere steuerbare und/oder regelbare Gleichstromversorgung für jeweils ein Elektrodenpaar Gegenelektrode/Brennkammer-Elektrode (Kathode und zugeordneter Anode) vorgesehen, so daß dadurch die Einstellbarkeit der Strombeaufschlagung einer individuellen Brennkammer-Elektrode einstellbar ist und umfangreiche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeiten erhalten werden.

[0046] Es können ein oder mehrere Netzgeräte für die Stromversorgung der Brennkammer-Elektroden vorgesehen sein.

[0047] Besonders günstig ist es, wenn der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagerbar sind. Durch solche Hochfrequenzimpulse läßt sich der Lichtbogen, welcher in der Brennkammer ausgebildet ist, stabilisieren. Über die Hochfrequenzimpulse ergibt sich dabei eine zusätzliche Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit.

[0048] Bei einer besonders vorteilhaften Variante einer Ausführungsform ist eine Zusatzheizung für die Brennkammer vorgesehen. Dadurch ergibt sich eine weitere Steuerungs- und/oder Regelungsmöglichkeit, indem das Plasma in der Brennkammer nachgeheizt

wird.

[0049] Eine Zusatzheizung ist vorteilhafterweise dadurch gebildet, daß der elektrischen Energieversorgung der Gegenelektroden ein Drehstrom überlagert wird, insbesondere wenn drei Gegenelektroden vorgesehen sind. Man erhält dann einen zwischen den Gegenelektroden umlaufenden Lichtbogen, wobei die Gleichstrom-Hauptentladungen von diesen Elektroden ausgehend auf die Brennkammer-Elektroden erfolgt.

[0050] Konstruktiv günstig ist es, wenn die Zusatzheizung ein oder mehrere Elektroden und insbesondere Kathoden umfaßt, welche quer zur Brennkammerachse in die Brennkammer weisen. Dadurch läßt sich das Plasma auf einfache Weise zusätzlich heizen.

[0051] Um eine effektive Heizung zu bewirken, ist eine Elektrode für eine Zusatzheizung günstigerweise im wesentlichen in einer radialen Richtung der Brennkammer ausgerichtet.

[0052] Die Zusatzheizung ist vorteilhafterweise mittels Gleichstrom und/oder Wechselstrom und/oder Drehstrom betätigbar.

[0053] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn ein Düsensegment der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt umfaßt, einen konvergenten Teil und einen sich anschließenden schwach divergenten Teil aufweist. Dadurch, daß die Erweiterung im divergenten Teil des Düsensegmentes nur sehr gering ist, ist die Verengung bezogen auf diesen Teil auch gering. Es läßt sich dann die Standzeit der Düse erhöhen, da die Verengung infolge Erosion an dem Querschnitt sich einem nachfolgendem zylindrischen Kanalabschnitt annähert. Bei der Strömung in dem Düsensegment treten dissipative Verluste auf und zwar dissipative Wandverluste und Strömungsverluste. Dies bewirkt mit der entsprechenden Kanalgeometrie an dem Düsensegment, daß eine schallnahe Strömung strömt, welche in Wandnähe Unterschallgeschwindigkeit aufweist und bei der Achse der Brennkammer mit einer Machzahl im Bereich zwischen etwa 1 bis 1,05 strömt. Aufgrund der Turbulenz in der Strömung ist dann die Strömung in dem nachfolgenden zylindrischen Kanalabschnitt weiterhin schallnah mit einer mittleren Machzahl von im wesentlichen 1.

[0054] Günstigerweise sind dabei eine Gegenelektrode und die Brennkammer-Elektroden so angeordnet, daß ein Lichtbogen durch den engsten Querschnitt der Plasmadüse durchgeführt ist. Durch die Elektroden erfolgt eine Heizung des Arbeitsgases mit einem oder mehreren Lichtbögen, wobei beispielsweise pulsierender Gleichstrom oder Wechselstrom geeigneter Frequenz vorgesehen ist, wobei hindurch die Lichtbögen sich durch den engsten Querschnitt erstrecken. Für Unterschallströmung hat dabei die Heizung durch den Lichtbogen den Einfluß, daß die Strömung vor dem engsten Querschnitt beschleunigt wird, da Heizungen im Unterschallbereich eine Zunahme der Machzahl bis zu maximal 1 zur Folge hat. Bei Überschallströmung liegt jedoch der Einfluß der Heizung darin, daß die Geschwindigkeit und die Machzahl verringert werden. Da-

durch, daß erfindungsgemäß eine konvergenter Teil und ein darin sich anschließender schwach divergenter Teil vorgesehen sind und sich der Lichtbogen durch den engsten Querschnitt hindurchstreckt, wobei dafür gesorgt ist, daß die Strömung stets schallnah ist, wird erreicht, daß die Heizung keinen gegensinnigen Einfluß auf die Strömung hat und dadurch die Strömung stabil bleibt und im wesentlichen im Unterschallbereich und dabei höchstens im schallnahen Überschallbereich verläuft. Dadurch ist das Auftreten stark Verdichtungsstöße unterbunden und insbesondere tritt kein erheblicher Ruhedruckverlust auf.

[0055] Ganz besonders vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, wenn eine oder mehrere Zusatzheizvorrichtungen beabstandet längs der Strömungsrichtung in der Brennkammer angeordnet sind. Mittels einer Zusatzheizvorrichtung wird grundsätzlich ein zylindrischer Strömungskanal verengt, da beispielsweise eine Elektrode in diesen hineinragen muß. Bei entsprechend ausgelegtem erfindungsgemäßen Plasmabrenner wird die erste Zusatzheizung mit Unterschallströmung angeströmt und nach der Zusatzheizung ergibt sich eine schallnahe Überschallströmung. Diese kann grundsätzlich einen negativen Einfluß haben, da insbesondere Verdichtungsstöße auftreten können. Dieser negative Einfluß läßt sich über einen Stoßdiffusor vermindern oder sogar eliminieren; dadurch, daß strömungsabwärts Zusatzwerkstoff in die Brennkammer, das heißt in die Strömung, injiziert werden kann, können schwache Verdichtungsstöße ausgelöst werden und damit läßt sich die Strömung verzögern und der Druck erhöhen. Dies wird dabei ohne Änderung der Geometrie des Strömungskanals (der Plasmadüse) erreicht.

[0056] Erfindungsgemäß läßt es sich erreichen, daß das Einblasen von Zusatzwerkstoff grundsätzlich in eine Unterschallströmung beziehungsweise höchstens in eine schallnahe Strömung erfolgt und insbesondere läßt es sich verhindern, daß Zusatzwerkstoff in eine voll ausgebildete Überschallströmung eingeblasen wird. Dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße ausgeschlossen, welche entsprechende Ruhedruckverluste zur Folge hätten.

[0057] Der erfindungsgemäße Plasmabrenner läßt sich auch in einem Plasmatriebwerk insbesondere für ein Raumfahrzeug einsetzen. Die umfangreichen Variationsmöglichkeiten bezüglich der Strahlausbildung und Strahlzusammensetzung ermöglichen diesen Einsatz. Es kann dabei auch vorgesehen sein, daß der Zusatzwerkstoff ein flüssiges Medium wie beispielsweise Wasser ist. Dieses flüssige Medium, wenn es in den Lichtbogen des Arbeitsgases eingebracht wird, wird aufgeheizt und expandiert thermisch, wodurch ein Rückstoßimpuls für das Raumfahrzeug erzeugbar ist. Durch die erfindungsgemäße Ausgestaltung ist dabei eine Belastung der Kathoden und des engsten Brennkammerquerschnitts durch das expandierende Medium vermieden.

[0058] Bei dem flüssigen Medium kann es sich auch

um ein chemisch aggressives Medium handeln; die erfindungsgemäße Ausgestaltung erlaubt den Einsatz eines solchen Mediums, da insbesondere die Belastung der Kathode und des engsten Düsenquerschnitts durch den Zusatzwerkstoff vermieden ist.

[0059] Die genannte Aufgabe wird erfindungsgemäß bei dem eingangs beschriebenen Verfahren dadurch gelöst, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgende Brennkammer-Elektroden umfaßt und daß die Brennkammer-Elektroden individuell gesteuert und/oder geregelt mit Strom beaufschlagt werden, um den Lichtbogen in der Brennkammer zu steuern und/oder zu regeln.

[0060] Dieses Verfahren weist die bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner beschriebenen Vorteile auf. Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen sowie deren Vorteile des Verfahrens sind entsprechend bereits im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner erläutert.

[0061] Günstigerweise wird dabei der Zusatzwerkstoff über eine oder mehrere Zuführeinrichtungen, welche jeweils zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden angeordnet sind, in die Brennkammer eingeblasen. Dadurch wird eine große Variabilität bezüglich des Einsatzes erreicht. Insbesondere lassen sich Schichtstrukturen auf einem Werkstück anfertigen, die mittels verschiedenen Zusatzwerkstoffen gebildet sind.

[0062] Ganz besonders vorteilhaft ist es, wenn der Zusatzwerkstoff in eine Ultraschallströmung oder in eine schallnahe Strömung in der Brennkammer eingeblasen wird. Dadurch ist verhindert, daß die Injektion des Zusatzwerkstoffes in eine voll ausgebildete Überschallströmung erfolgt; dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße mit entsprechenden Ruhedruckverlusten vermieden.

[0063] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sind Gegenstand der nachfolgenden Beschreibung sowie der zeichnerischen Darstellung der Ausführungsbeispiele.

[0064] In der Zeichnung zeigen:

- Figur 1 eine seitliche Schnittansicht einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners;
- Figur 2 einen Schnitt durch den Plasmabrenner gemäß Figur 1 entlang der Linie A-A;
- Figur 3 eine seitliche Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners;
- Figur 4 einen Schnitt durch den Plasmabrenner gemäß Figur 3 entlang der Linie B-B;
- Figur 5 eine seitliche Teilansicht in Schnittdarstellung eines dritten Ausführungsbeispiels ei-

nes erfindungsgemäßen Plasmabrenners;

Figur 6 eine Schnittansicht des Plasmabrenners gemäß Figur 5 entlang der Linie C-C und

Figur 7 eine Schnittansicht des Plasmabrenners gemäß Figur 5 entlang der Linie D-D.

[0065] Eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmabrenners, welcher in Figur 1 als Ganzes mit 10 bezeichnet ist, umfaßt ein zylindrisches Gehäuse 12 mit einer Gehäusewand 14. Die Gehäusewand 14 weist eine Achse 16 auf.

[0066] An einem unteren Ende der Gehäusewand 14 ist ein Gehäuseboden 18 angeordnet, welcher um die Achse 16 eine zylindrische durchgehende Öffnung 20 aufweist. Weiterhin ist ein Gehäusedeckel 22 vorgesehen, der an dem anderen Ende des Gehäuses 12 mit der Gehäusewand 14 verbunden ist. Die Fixierung von Gehäuseboden 18 und Gehäusedeckel 22 an der Gehäusewand 14 ist in Figur 1 nicht gezeigt und wird im Zusammenhang mit dem dritten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 noch erläutert.

[0067] Durch die Gehäusewand 14 umschlossen ist im Gehäuse 12 ein zylindrischer Hohlraum 24 gebildet, in dem eine als Ganzes mit 26 bezeichnete Brennkammer angeordnet ist, deren Brennkammerachse mit der Achse 16 zusammenfällt. Ein Brennraum 28 der Brennkammer ist rotationssymmetrisch zu der Brennkammerachse 16 ausgebildet.

[0068] Die Brennkammer 26 ist aus einer Mehrzahl von Segmenten gebildet. Bei dem in Figur 1 gezeigten Ausführungsbeispiel umfaßt die Brennkammer 26 fünf Segmente.

[0069] Ein erstes Segment 30 der Brennkammer 26, welches das dem Gehäusedeckel 22 nächstliegende Segment ist, weist einen ersten Segmentabschnitt 32 auf, dessen Kammerwand 34 zylindrisch ausgebildet ist, wobei die Kammerwand 34 koaxial zu der Gehäusewand 14 ausgerichtet ist. Auf den ersten Segmentabschnitt 32 folgt ein zweiter Segmentabschnitt 36, der einstückig mit dem ersten Segmentabschnitt 32 verbunden ist und der die Form eines Kegelstumpfes mit einer Achse koaxial zur Brennkammerachse 16 aufweist. Der Kegelwinkel ist dabei so, daß eine gedachte Kegelspitze des zweiten Segmentabschnitts 36 zu dem Gehäuseboden 18 weist.

[0070] An dem Übergang zwischen dem ersten Segmentabschnitt 32 und dem zweiten Segmentabschnitt 36 ist im Brennraum 28 eine ringförmige Auflagenstufe 38 für einen als Ganzes mit 40 bezeichneten Gegenelektrodenhalter und insbesondere Kathodenhalter gebildet.

[0071] Auf den zweiten Segmentabschnitt 36 des ersten Segments 30 folgt ein dritter Segmentabschnitt 42, welcher einen kegelstumpfförmigen Innenraum 44 aufweist, wobei eine gedachte Kegelspitze dieses Innenraums 44 auf der Brennkammerachse 16 liegend in

Richtung des Gehäusedeckels 22 weist. Der dem Brennraum 28 zugewandte Übergang zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 ist abgerundet, so daß keine scharfe Kante an diesem Übergang vorliegt.

[0072] Das erste Segment 30 ist dabei so ausgebildet, daß bei den Normalbetriebsparametern einer Heizung eines Arbeitsgases, durch welche ein Plasma erzeugt wird, daß durch die Verengung zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 das Arbeitsgas im wesentlichen in Unterschallströmung strömt oder höchstens mit schallnaher Geschwindigkeit. Insbesondere liegt dazu der Kegelwinkel des Innenraums 44 bei einem kleinen Wert.

[0073] Die Gehäusewand 14 ist mit einer zylindrischen Ausnehmung 46 versehen, durch die eine Ringfläche 48 dem Gehäusedeckel 22 zugewandt gebildet ist, auf die das erste Segment 30 zu dessen Positionierung in dem Hohlraum 24 auflegbar ist.

[0074] Auf das erste Segment 30, welches bei einer Variante einer Ausführungsform als Brennkammer-Elektrode und insbesondere als Anode ausgebildet ist unter Verwendung eines metallischen leitfähigen Materials wie insbesondere Kupfer oder bei einer alternativen Variante aus einem nicht leitenden Material gefertigt ist, folgt zum Gehäuseboden 18 hin ein zweites Segment 50, welches als Isolierelement aus einem elektrisch isolierenden Material wie beispielsweise Aluminiumoxid, Saphir, Magnesit oder Siliziumkarbid gefertigt ist. Es kann auch vorgesehen sein, daß ein solches Isolierelement 50 aus einer eloxierten Aluminium-Hartlegierung wie AlMgSi, 5 gefertigt ist. Bei einer Variante einer Ausführungsform ist das Isolierelement aus einem gut wärmeleitenden metallischen Material gefertigt und mit einem elektrisch isolierenden Überzug versehen.

[0075] Das Isolierelement 50 hat eine scheibenförmige Gestalt mit einer zentralen zylindrischen Ausnehmung jeweils an gegenüberliegenden Stirnflächen, so daß das Isolierelement 50 im Querschnitt knochenförmig ist. Ein dadurch dem Gehäusedeckel 22 zugewandt gebildeter Stufenrand 52 ist von einer Außenringfläche 54 des dritten Segmentabschnitts 42 des ersten Segments 30 umgeben.

[0076] Das Isolierelement 50 weist zur Bildung des Brennraums 28 eine zylindrische zentrale Öffnung 56 auf, deren Durchmesser dem Durchmesser des Innenraums 44 des dritten Segmentabschnitts 42 an dem Übergang zum zweiten Segment 50 entspricht.

[0077] In dieser Öffnung kann ein Abstandsring (in der Figur nicht gezeigt) angeordnet sein, um den Abstand zwischen benachbarten Anoden, zwischen denen das Isolierelement (50) angeordnet ist, festzulegen.

[0078] Das Isolierelement 50 ist mit einem Kanal 58 (Figur 2) versehen, welcher quer und insbesondere senkrecht zur Brennkammerachse 16 orientiert ist mit einer Mündungsöffnung 60, welche so ausgerichtet ist, daß ein Fluid quer zu einer radialen Richtung 62 und insbesondere tangential zu einer Azimutalrichtung des

Brennraums 28 in diesen einblasbar ist. Der Kanal 58 geht durch die Gehäusewand 14, um von außen das Fluid, bei dem es sich insbesondere um einen Zusatzwerkstoff handeln kann, in den Brennraum 28 einblasen zu können. Bevorzugterweise ist die Mündungsöffnung 60 so angeordnet, daß das Fluid an oder in der Nähe einer Seitenfläche 64 des Brennraums 28 einblasbar ist, um eine tangentielle Zuführung des Fluids über das als Zuführeinrichtung ausgebildete Isolierelement 50 zu ermöglichen.

[0079] Auf das Isolierelement 50 folgt eine Anode 66 als drittes Segment und als weitere Brennkammer-Elektrode mit einem zylindrischen Innenraum 68, dessen Durchmesser dem der Öffnung 56 im zweiten Segment 50 entspricht. Dem zweiten Segment 50 zugewandt weist das dritte Segment 66 ein in Richtung des Gehäusedeckels 22 weisendes Ringelement 70 auf, welches um einen entsprechenden Stufenrand 72 des zweiten Segments 50, welcher dem Gehäuseboden 18 zugewandt ist, umläuft.

[0080] Auf das dritte Segment 66, welches als anodische Brennkammer-Elektrode ausgebildet ist, folgt ein viertes Segment 74 der Brennkammer 26, welches ein Isolierelement ist und grundsätzlich gleich aufgebaut ist wie das zweite Segment 50. Ein entsprechendes unteres, dem Ringelement 70 abgewandtes Ringelement des dritten Segments 66 umläuft dabei einen entsprechenden Stufenrand des vierten Segments 74.

[0081] Auf das vierte Segment 74 folgt ein weiteres, als Anode (Brennkammer-Elektrode) ausgebildetes fünftes Segment, welches aus dem Gehäuseboden 18 ragt mit einer Mündungsöffnung 78, aus der ein Plasmastrahl bei Betrieb des erfindungsgemäßen Plasmabrenners austritt. Das fünfte Segment umfaßt einen ersten Abschnitt 80 mit einem zylindrischen Innenraum 82, dessen Durchmesser dem des Innenraums 68 des dritten Segments entspricht und einen zweiten Abschnitt 84, dessen Innenraum 86 kegelförmig ausgebildet ist, wobei die gedachte Kegelspitze in Richtung des Gehäusedeckels 22 weist und die Mündungsöffnung 78 eine Basis des Kegelstumpfes bildet.

[0082] Die Anoden 30, 66, 76 können dabei, um eine bessere Abdichtung und eine bessere Kühlung zu erreichen, mit den entsprechend dazwischenliegenden Isolierelementen 50 bzw. 74 verlötet sein. Diese Verlötung muß auch die hohen Temperaturen, die beim Betrieb des Plasmabrenners auftreten können, aushalten. Es ist deshalb wichtig, daß die entsprechenden Materialien der Anoden und der Isolierelemente bezüglich ihres Wärmeausdehnungskoeffizienten so angepaßt sind, daß durch die hohen Temperaturen keine Beschädigung der Lötverbindung auftritt. Es kann dabei erfindungsgemäß vorgesehen sein, daß zwischen den zu verlötenden Teilen ein Puffermaterial aufgebracht wird, insbesondere mittels Sprengplattierung, das einen Wärmeausdehnungskoeffizienten aufweist, welcher zwischen dem des Materials für die entsprechende Anode und dem des Materials für das entsprechende Isolierele-

ment liegt, um so einen Ausgleich bezüglich der Wärmeausdehnung bei Temperaturerhöhung zu schaffen.

[0083] Zur Kühlung der Brennkammer 26 ist eine als Ganzes mit 88 bezeichnete Kühlvorrichtung vorgesehen. Diese umfaßt parallel zur Brennkammerachse 16 in der Gehäusewand 14 angeordnete Kühlkanäle 90, die insbesondere symmetrisch bezüglich der Brennkammerachse 16 verteilt angeordnet sind und über die ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, der Brennkammer 26 zuführbar ist. Dazu weist der Gehäusedeckel 22 entsprechende Kanäle 92 auf, über die das Kühlmittel zu- und/oder abführbar ist.

[0084] Des weiteren ist zwischen dem Gehäusedeckel 22 und dem ersten Segment 30 der Brennkammer 26 ein Schlußelement 94 angeordnet, zwischen welchem und dem Gehäusedeckel 22 ein zylindrischer Hohlraum 96 gebildet ist, der als Verteilerraum für das Kühlmittel dient. Dieser Hohlraum 96 ist fluiddicht gegenüber den Kanälen 90, 92 abgeschlossen. Zur Zuführung/Abführung von Kühlmittel in diesen Verteilerraum 96 weist der Gehäusedeckel 22 einen oder mehrere entsprechende Kanäle auf. Bevorzugterweise ist es vorgesehen, das Kühlmittel über den Hohlraum 96 zugeführt wird und über die Kanäle 90, 92 abgeführt wird. Die entsprechenden Zuführungsvorrichtungen und Abführungsvorrichtungen sind in der Figur 1 nicht gezeigt.

[0085] Durch das Schlußelement 94 verlaufen, wie in Figur 1 gezeigt, parallel zur Brennkammerachse 16 Kanäle 98, die ebenfalls bevorzugterweise symmetrisch verteilt um die Brennkammerachse 16 angeordnet sind. Diese Kanäle setzen sich in dem ersten Segment 30 als Kanäle 100 fort, wobei entsprechende Dichtungen 102 zur fluiddichten Abdichtung zwischen dem Schlußelement 94 und dem ersten Segment 30 angeordnet sind.

[0086] Die Kanäle 100 münden in dem ersten Segment 30 im Bereich des zweiten Segmentabschnitts 36 in einen Hohlraum 104, durch den die mit Kühlmittel beaufschlagbare (äußere) Brennkammerfläche vergrößert ist. Von dem Hohlraum 104 gehen weitere Kanäle 106 aus, die sich in dem Isolierelement 50 und dem dritten Segment 66 fortsetzen, wobei jeweils zwischen dem ersten Segment 30 und dem zweiten Segment 50, und dem zweiten Segment 50 und dem dritten Segment 66 entsprechende Dichtungen angeordnet sind.

[0087] Ebenfalls sind zwischen dem ersten Segment 30 und der Gehäusewand 14 Dichtungen 108 angeordnet, die insbesondere verhindern, daß Kühlmittel aus dem Hohlraum 96 in den Bereich zwischen dem ersten Segment 30 und der Gehäusewand 14 eindringt.

[0088] Zwischen dem Isolierelement 50 wie auch zwischen dem Isolierelement 74 und der Gehäusewand 14 ist dabei jeweils ein ringförmiger Hohlraum 110 gebildet, wobei entsprechende Dichtungen so angeordnet sind, daß Kühlmittel auch nicht in diesen Hohlraum 110 eindringen kann.

[0089] Das als Anode ausgebildete dritte Segment 66 weist ebenfalls einen ringförmigen Hohlraum 112 auf, der die mit Kühlmittel beaufschlagbare Fläche der An-

ode 66 vergrößert. Von diesem Hohlraum ausgehend führen Kanäle durch das zweite Isolierelement (viertes Segment) 74 und das als Anode ausgebildete fünfte Segment 76 in einen weiteren ringförmigen Hohlraum 114 des fünften Segments 76, in welchen die Kanäle 90 in der Gehäusewand 14 münden, so daß die Brennkammer durchströmendes Kühlmittel ausgehend von dem Hohlraum 114 über die Kanäle 90, 92 aus dem erfindungsgemäßen Plasmabrenner abführbar ist.

[0090] In dem Kathodenhalter 40, welcher auf der Auflagestufe 38 angeordnet ist, sitzen parallel ausgerichtet zur Brennkammerachse 16 Halter, die durch den Gehäusedeckel 22, den Verteilerraum 96, das Schlußelement 94 und durch entsprechende Öffnungen 116 in den Brennraum 28 ragen. Bei einer Variante eines Ausführungsbeispiels sind drei Kathoden als Gegenelektroden zu den Brennkammer-Anoden vorgesehen und entsprechend drei Halter 116, welche symmetrisch um die Brennkammerachse 16 verteilt sind, d. h. die Eckpunkte eines gleichseitigen Dreiecks bilden (vgl. Figur 6).

[0091] An dem in den Brennraum 28 weisenden Ende sitzt jeweils eine stabförmige Kathode 118 als Gegenelektrode zu den Brennkammer-Elektroden, welche beispielsweise aus Wolfram gefertigt ist. Die Halter 116 sind dabei mit Innenkanälen versehen, durch die ein Kühlmittel, insbesondere Wasser, zur Kühlung der Kathode 120 an dem Halter 116 zuführbar ist.

[0092] Der Kathodenhalter 40 selber ist mit einem Abstand zu dem Schlußelement 94 angeordnet, so daß ein Hohlraum 122 zwischen dem Schlußelement und dem Kathodenhalter 40 gebildet ist. In diesen Hohlraum 122 mündet ein Kanal 124 für ein Arbeitsgas, wie beispielsweise Argon oder Helium, zur Plasmaerzeugung. Der Hohlraum 122 dient insbesondere als Pufferspeicher für das Arbeitsgas, um Druckschwankungen bei der Zuführung über eine Zuführvorrichtung (in der Figur nicht gezeigt) auszugleichen.

[0093] Der Kathodenhalter 40 umfaßt dabei ein Einblaselement 126, welches insbesondere aus einem Keramikmaterial gefertigt ist, und mit welchem dieser auf der Auflagestufe 38 aufliegt. Dieses Einblaselement weist Zuführkanäle 128 auf, welche ausgehend von dem Hohlraum 122 in den Brennraum 28 münden, wobei diese eine Neigung gegen die Brennkammerachse 16 aufweisen, so daß dem Arbeitsgas beim Eintritt in den Brennraum 28 ein Drall erteilbar ist. Die Zuführkanäle 128 sind dabei insbesondere so angeordnet, daß in den Brennraum 28 eingeführtes Arbeitsgas um die Kathoden 120 strömt, d. h. durch den Bereich zwischen den Kathoden und dem ersten Segment 30 strömt.

[0094] Ferner weist der Kathodenhalter den Haltern 116 zugeordnete Ringelemente 130 auf, wobei zwischen einem Halter 116 und dem Einblaselement 126 quer zur Brennkammerachse 16 ein zylindrischer Ringspalt 132 gebildet ist. In dem Ringelement 130 selber ist jeweils ebenfalls ein im Querschnitt ringförmiger Spalt 134 den Halter 116 umgebend gebildet, wobei die-

ser Spalt kegelförmig in Richtung der Kathode 120 ausgebildet ist, so daß Arbeitsgas durch diesen Spalt 134 in den Ringspalt 132 strömen und die Kathode 120 umströmen kann, um diese mittels Arbeitsgas zu kühlen.

[0095] Das Einblaselement 126 weist ferner coaxial zur Brennkammerachse 116 ein in den Brennraum 28 weisendes Trennelement 136 auf, welches bezogen auf die axiale Richtung über die Kathoden 120 hinaussteht und ebenfalls aus einem isolierenden Keramikmaterial gefertigt ist. Dieses Trennelement 136 dient dazu, die elektrische Beeinflussung der Kathoden gegenseitig zu verhindern.

[0096] Es ist grundsätzlich auch vorgesehen, daß die Anzahl der Anoden der Anzahl der Kathoden entspricht. Es ist dann jeder Brennkammer-Elektrode und insbesondere Anode eine Gegenelektrode und insbesondere Kathode elektrisch zugeordnet, d. h. es ist eine Mehrzahl von Anoden-Kathoden-Elektrodenpaaren gebildet.

[0097] Zur Versorgung des Plasmabrenners mit elektrischer Energie ist eine Energieversorgungseinrichtung vorgesehen (in der Zeichnung nicht gezeigt), die eine oder mehrere Netzgeräte umfaßt. Es ist dabei erfindungsgemäß vorgesehen, daß die Strombeaufschlagung jeder Anode 30 (sofern das erste Segment als Anode ausgebildet ist und als Anode wirkt), 66, 76 individuell steuerbar und/oder regelbar ist, d. h. die Strombeaufschlagung jeder Anode unabhängig von den anderen Anoden steuerbar und/oder regelbar ist, um eine optimale Lichtbogenform und optimale Strömungsverhältnisse in dem Brennraum 28 zu erhalten. Insbesondere kann es vorgesehen sein, daß die Anoden elektrisch außerhalb verschaltet werden, um auf diese Weise eine unabhängige Stromversorgung zu ermöglichen.

[0098] Der erfindungsgemäße Plasmabrenner funktioniert wie folgt:

[0099] Über den Verteilerraum 96 und die Kanäle 102 wird zur Kühlung der Brennkammer 26 Kühlmittel zuzuführen und über die Kanäle 90 abgeführt bzw. zugeführt. Arbeitsgas wird über den Kanal 124 und den Pufferspeicher 122 dem Brennraum 28 zugeführt, wobei der über den Spalt 134 in den Brennraum 28 gelangende Teil des Arbeitsgases auch die als Kathoden wirkenden Elektroden im Gasstrom kühlt und über die Zuführkanäle 128 eingeblasenes Arbeitsgas einen Drall beim Eintritt in den Brennraum 28 erhält.

[0100] Bei Anlegen einer Spannung zwischen den Kathoden und den zugeordneten Anoden und Zuführung des Arbeitsgases wie Argon, Neon, Stickstoff oder Helium wird dabei eine Bogenladung aufrechterhalten, so daß ein Plasmastrahl gebildet ist, der aus der Mündungsöffnung 78, beispielsweise gerichtet auf ein Werkstück, auftritt.

[0101] Durch die Mehrzahl von bezüglich der axialen Richtung 16 angeordneten Anoden, deren Strombeaufschlagung insbesondere durch Gleichstrom individuell steuerbar ist, läßt sich entsprechend die Stromverteilung in der Brennkammer 26 einstellen und sich so eine optimale Gestalt des Lichtbogens und entsprechend der

Strömung ausbilden. Insbesondere läßt es sich vermeiden, daß die Plasmaströmung sich einschnürt, wodurch sonst hohe Wandbelastungen auftreten könnten, die sogar zu einer Zerstörung eines Plasmabrenners führen könnten. Auch ein Abbruch ("Quenching") des Lichtbogens läßt sich vermeiden.

[0102] Über die Kanäle 58 der Zuführeinrichtungen läßt sich ein Zusatzwerkstoff, wie beispielsweise ein Spraymaterial, einblasen. Die dadurch entstehende Zweiphasenströmung (Plasmastrahl und Zusatzwerkstoff) läßt sich aufgrund der Mehrzahl von Anoden, deren Strombeaufschlagung individuell steuerbar und/oder regelbar ist, gut steuern. Dadurch läßt sich eine hohe Variabilität des Plasmastroms sowohl bezüglich des Massestroms als auch des Energiestroms erreichen.

[0103] Es lassen sich insbesondere mehrere Zusatzwerkstoffe über unterschiedliche Isolierelemente (beispielsweise Isolierelement 50 und Isolierelement 74) in den Brennraum 28 einblasen, so daß beispielsweise bei einem Beschichtungsvorgang eine entsprechende Schichtstruktur erhalten werden kann.

[0104] Da der Zusatzwerkstoff in den Brennraum nach der engsten Stelle im Brennraum, welche am Übergang zwischen dem zweiten Segmentabschnitt 36 und dem dritten Segmentabschnitt 42 des ersten Segments 30 liegt, eingeführt wird, entfällt eine abrasive Wirkung des Zusatzwerkstoffes im engsten Düsenquerschnitt.

[0105] Es kann vorgesehen sein, daß der Zusatzwerkstoff mit Hilfe eines Transportgases, bei dem es sich insbesondere um ein inertes Gas wie Argon, Helium, Stickstoff oder Neon handelt, in den Brennraum 28 über Kanäle 58 eingeblasen wird.

[0106] Bei einer Anordnung mit drei Kathoden ist es möglich, daß nur eine der drei Kathoden zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens in Verbindung mit dem als Anode ausgebildeten ersten Segment 30 eingesetzt wird, während die beiden anderen Kathoden in Zusammenwirkung mit den anderen Anoden Anteile liefern, die durch den engsten Querschnitt des Brennraums hindurch den Lichtbogen führen. Durch die individuelle Ansteuerbarkeit der Anoden läßt sich so entsprechend der Lichtbogen bei optimaler Energieausnutzung zur Erzielung eines für die entsprechende Anwendung optimalen Plasmastrahls einsetzen.

[0107] Zur Stabilisierung des Lichtbogens kann es insbesondere vorgesehen sein, daß der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagert werden.

[0108] Das erste Segment 30 der Brennkammer 26, in welchem der engste Querschnitt der Plasmadüse gebildet ist, weist bezüglich der Strömungsrichtung des Arbeitsgases einen konvergenten Segmentabschnitt 36 auf und einen geringfügig divergenten Teil 42. Die Düsengeometrie ist dabei so ausgelegt, daß in Verbindung mit dissipativen Wandverlusten und dissipativen Strömungsverlusten eine schallnahe Strömung erreichbar

ist, welche insbesondere in Wandnähe eine Unterschallströmung ist und in der Brennkammerachse schallnah ist mit einer Machzahl im Bereich von höchsten etwa 1 bis 1,05. Im nachfolgenden zylindrischen Segment 50 ist dann die Strömung schallnah mit einer mittleren Machzahl von im wesentlichen 1.

[0109] Die Strömung verläuft daher praktisch ausschließlich im Unterschallbereich, wobei sie höchstens im schallnahen Überschallbereich liegt. Dadurch ist das Auftreten starker Verdichtungsstöße und den damit einhergehenden großen Ruhedruckverlusten weitgehend vermieden.

[0110] Bei einem zweiten Ausführungsbeispiel, welches in Figur 3 gezeigt und als Ganzes mit 140 bezeichnet ist, ist gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel gemäß Figur 1 ein zusätzliches, als Anode ausgebildetes Segment 142 vorgesehen, welches gleich ausgebildet ist wie das dritte Segment 66 gemäß Figur 1, wobei dann auch ein weiteres Isolierelement 144 vorgesehen ist. Ein erstes Segment 148, welches dem Gehäusedeckel 22 am nächsten ist, ist dagegen nicht als Anode ausgebildet, hat aber im wesentlichen die gleiche Form wie das erste Segment 30 gemäß Figur 1.

[0111] Bei einer Variante einer Ausführungsform weist das Isolierelement 144, wie in Figur 4 gezeigt, neben dem Kanal 58 für den Zusatzwerkstoff noch ein Kathodenelement 144 auf, welches in den Brennraum 28 ragt und das mit Gleichstrom, Wechselstrom oder Drehstrom versorgbar ist. Das Kathodenelement 144 ist dabei insbesondere in einer radialen Richtung 146 quer und insbesondere senkrecht zur Brennkammerachse 16 ausgerichtet.

[0112] Über ein solches Kathodenelement 144 ist eine Zusatzheizung für das Plasma in dem Brennraum 28 gebildet, so daß eine zusätzliche Temperatursteuerung und/oder Temperaturregelung des Plasmas erfolgen kann. Dadurch wird die Variabilität des erfindungsgemäßen Plasmabrenners weiter erhöht.

[0113] Solche Kathodenelemente 144 können auch an anderen Isolierelementen vorgesehen sein.

[0114] Die Zusatzheizung stellt eine Verengung des zylindrischen Strömungskanal dar; bei schallnaher Anströmung der Zusatzheizung mittels Unterschallströmung ergibt sich strömungsmäßig nach der Zusatzheizung eine schallnahe Überschallströmung. Durch strömungsabwärts durchgeführtes Einblasen von Zusatzwerkstoff kann dabei die Auslösung schwacher Verdichtungsstöße realisiert werden. Durch die Einblasung von Zusatzwerkstoff läßt sich dadurch ein Stoßdiffusor ausbilden, welcher so Druckschwankungen und Instabilitäten in der Strömung entgegen wirkt. Dies ist erreicht, ohne daß die Kanalgeometrie im Bereich der zylindrischen Strömung selber verändert werden muß. Der negative Einfluß einer schallnahen Überschallströmung durch Durchführung einer Zusatzheizung läßt sich also durch Einblasen von Zusatzwerkstoff, welche eine Stoßdiffusorwirkung ausübt, eliminieren.

[0115] Um dies zu erreichen, sind die Anordnung,

Durchführung insbesondere die elektrischen Betriebsparameter der Zusatzheizung an die spezielle Ausgestaltung der Kanalgeometrie anzupassen und insbesondere ist eine Abstimmung bezüglich dieser Elemente durchzuführen, um Druckschwankungen und Instabilitäten zu verhindern. Eine Voraussetzung dafür, daß diese Abstimmung überhaupt durchführbar ist, ist jedoch, daß der Zusatzwerkstoff in eine Ultraschallströmung oder höchstens schallnahe Strömung eingeblasen wird und nicht in eine vollausgebildete Überschallströmung. Durch die entsprechende Ausgestaltung des Düsensegments 30 der Brennkammer 26, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse aufweist, ist dies erreichbar.

[0116] Ansonsten ist der Plasmabrenner gemäß der zweiten Ausführungsform im wesentlichen gleich ausgebildet wie der gemäß der ersten Ausführungsform und funktioniert auch im wesentlichen gleich. Gleiche Bauteile bei der zweiten Ausführungsform tragen daher in den Figuren 3 und 4 dasselbe Bezugszeichen wie in den Figuren 1 und 2.

[0117] Im Unterschied zu der ersten Ausführungsform ist jedoch die erste Anode erst nach dem engsten Querschnitt im Segment 148 angeordnet.

[0118] Bei einer dritten Ausführungsform, welche in der Figur 5 als Ganzes mit 150 bezeichnet ist, ist der Gehäusedeckel 22 und der Gehäuseboden 18 über einen ersten Bolzen 152 und einen zweiten Bolzen 154 verspannt, die durch einen Sechskant 156 mit jeweils gegendrehenden Innengewinden gegeneinander gehalten und miteinander verspannbar sind, um dadurch eben Gehäuseboden 18 und Gehäusedeckel 22 mit der Gehäusewand 14 zu verspannen.

[0119] Die Bolzen 152 und 154 sind im wesentlichen gleich ausgebildet mit einem Bolzenkopf 158. Sie gehen durch eine Öffnung 160 jeweils im Gehäusedeckel 22 und Gehäuseboden 18, wobei in dieser Öffnung ein Isolierelement 162 zur elektrischen Isolierung der Bolzen von dem Gehäuse 12 sitzt. Zwischen dem Bolzenkopf und dem Gehäuseboden 18 bzw. der Gehäusewand 14 ist eine Beilagscheibe 163 und eine Scheibenfeder 164 angeordnet. Durch Drehung des Sechskants 156 werden Gehäusedeckel 22 und Gehäuseboden 18 miteinander verspannt.

[0120] Insbesondere sind mehrere derartige Bolzenverbindungen um das Gehäuse 12 vorgesehen.

[0121] Bei dem in Figur 5 gezeigten Ausführungsbeispiel ist vom Gehäusedeckel 22 ausgehend eine erste Anode 166, ein erstes Isolierelement 168, eine zweite Anode 170, ein zweites Isolierelement 172, eine dritte Anode 174, ein drittes Isolierelement 176 und schließlich dem Gehäuseboden 18 zugewandt eine vierte Anode 178 vorgesehen. Diese vierte Anode 178 weist auch die Mündungsöffnung 78 auf.

[0122] Das zweite Isolierelement 172 ist mit einer Mehrzahl von Elektroden 180 (Figur 7) versehen, welche in radialer Richtung in die Brennkammer 28 ragen. Bei diesen Elektroden handelt es sich insbesondere um

Kathoden.

[0123] Bei der in Figur 7 gezeigten Variante sind symmetrisch verteilt zur Brennkammerachse 16 drei Kathodenelemente 180 zur Zusatzheizung des Plasmas vorgesehen.

[0124] Ein Halter 182 für ein Kathodenelement 180 ist dabei bezogen auf den Brennraum 28 zurückgesetzt angeordnet, so daß zwischen einer Brennraumbegrenzungsfläche 184 und einem dem Brennraum 28 zuweisenden Ende des Halters 182 ein Abstand gebildet ist.

[0125] In Figur 5 und 6 ist der Kathodenhalter 40 gezeigt. Es kann insbesondere vorgesehen sein, daß die Kathoden 40 relativ zur Brennkammer 28 verschieblich sind, wobei die Position der Kathoden in der Brennkammer 28 eingestellt werden kann.

[0126] Die Verschieblichkeit kann erreicht werden, indem der Kathodenhalter 40 als Ganzes verschieblich ausgebildet ist oder jeder der Halter 116 verschieblich ausgebildet ist.

[0127] Dadurch läßt sich die optimale Position der Kathoden 40 in der Brennkammer 28 während des Betriebes des erfindungsgemäßen Plasmabrenners einstellen, um so insbesondere die Wandbelastung der Brennkammer möglichst gering zu halten.

[0128] Es kann auch vorgesehen sein, daß die Brennkammer-Elektroden und die Gegenelektrode beziehungsweise Gegenelektroden so mit elektrischer Energie beaufschlagt werden und insbesondere mit Drehstrom, daß eine umlaufender, zeitlich nicht stationärer Drehstromlichtbogen erzeugt wird. Ein solcher, mit Drehstromfrequenz umlaufender Lichtbogen kann bei drei Elektrodenpaaren sukzessiv zwischen jeweils je zwei benachbarten Elektroden (Gegenelektroden) gezündet werden. Die Gegenelektrode/Gegenelektroden und Brennkammer-Elektroden wirken dann sukzessiv abwechselnd als Anoden und Kathoden und auch zeitlich abwechselnd als solche.

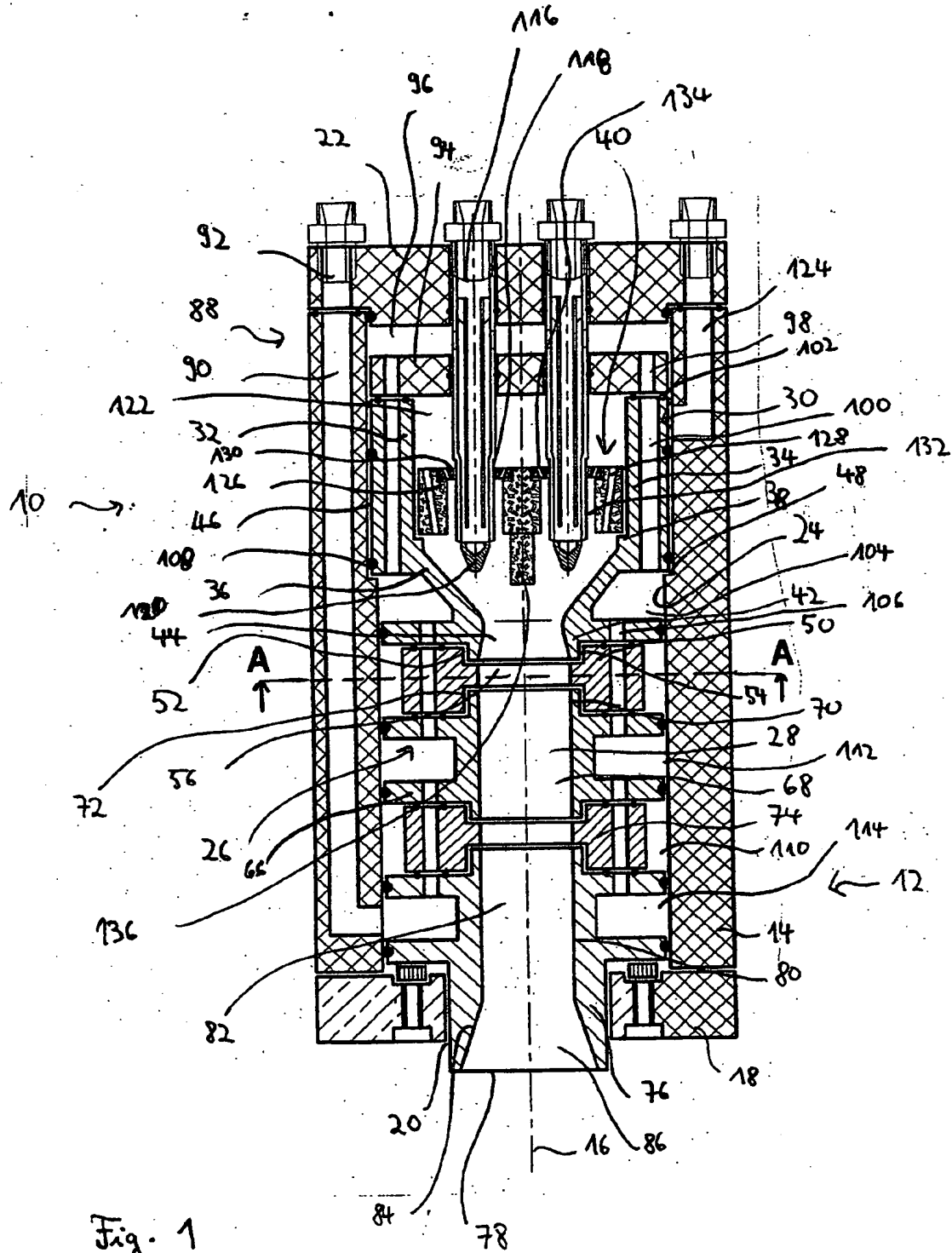
Patentansprüche

1. Plasmabrenner mit einer Brennkammer (26), in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse (16) aufeinanderfolgend angeordnet sind und daß jede einzelne Brennkammer-Elektrode (30; 66; 76) individuell elektrisch ansteuerbar ist.
2. Plasmabrenner nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden (30, 66) jeweils ein Isolierelement (50) angeordnet ist.

3. Plasmabrenner nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50) mit einem elektrisch nicht leitenden Überzug versehen ist.
4. Plasmabrenner nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Innenraum eines Isolierelements (50) ein Abstandsring angeordnet ist. 5
5. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 2 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50) mit einer benachbarten Brennkammer-Elektrode (30; 66) verlötet ist. 10
6. Plasmabrenner nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Material für eine Brennkammer-Elektrode und das Material für ein damit zu verbindendes Isolierelement so gewählt sind, daß die Wärmedehnung von Isolierelement und Brennkammer-Elektrode aneinander angepaßt ist. 15
7. Plasmabrenner nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß ein Puffer zwischen einer Brennkammer-Elektrode und einem zu verbindenden Isolierelement aus einem Puffermaterial vorgesehen ist, welches einen Wärmedehnungskoeffizienten zwischen dem des Materials des Isolierelements und dem des Materials der Brennkammer-Elektrode aufweist. 20
8. Plasmabrenner nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß das Puffermaterial mittels Sprengplattierung auf die Brennkammer-Elektrode und/oder das Isolierelement aufgebracht ist. 25
9. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) rotationssymmetrisch um die Brennkammerachse (16) ausgebildet ist. 30
10. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) als Plasmadüse für einen Plasmastrahl ausgebildet ist. 35
11. Plasmabrenner nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (30) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, als Elektrode ausgebildet ist. 40
12. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (148) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, nicht als Elektrode ausgebildet ist und/oder nicht als Elektrode wirkt. 45
13. Plasmabrenner nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem Düsensegment (30), welches den engsten Querschnitt der Plasmadüse umfaßt, ein Düsensegment angeordnet ist, welches als Elektrode ausgebildet ist. 50
14. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) einführbar ist. 55
15. Plasmabrenner nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Zuführung des Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer (26) bezogen auf die Strömungsrichtung des Arbeitsgases nach dem engsten Querschnitt der Brennkammer (26) erfolgt.
16. Plasmabrenner nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff quer zu einer Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
17. Plasmabrenner nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff im wesentlichen senkrecht zur Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
18. Plasmabrenner nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff quer zu einer radialen Richtung (62) in die Brennkammer (26) einführbar ist.
19. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Isolierelement (50), welches zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden (30, 66) angeordnet ist, als Zuführungseinrichtung ausgebildet ist, welche eine oder mehrere Zuführkanäle (58) zur Einführung von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) umfaßt.
20. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einblasen von Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) ein Transportmedium in die Brennkammer (26) einleitbar ist.
21. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Zuführungseinrichtungen (50) vorgesehen sind, durch welche Zusatzwerkstoff in die Brennkammer (26) einführbar ist, wobei die Zuführungseinrichtungen (50) axial beabstandet sind und die Zuführung durch die jeweiligen Zuführungseinrichtungen (50) unabhängig voneinander durchführbar ist.
22. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer (26) eine Mehrzahl von Anoden (30,

- 66, 76) als Brennkammer-Elektroden umfaßt.
23. Plasmabrenner nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode zu einer Brennkammer-Elektrode eine Kathode (40) ist. 5
24. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Gegenelektroden (40) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) vorgesehen ist. 10
25. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anzahl von Gegenelektroden der Anzahl der Brennkammer-Elektroden entspricht. 15
26. Plasmabrenner nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Gegenelektroden (40) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) symmetrisch bezüglich einer Brennkammerachse (16) angeordnet sind. 20
27. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß drei Elektroden als Gegenelektroden (120) zu den Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) vorgesehen sind. 25
28. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß zur Zuführung von Arbeitsgas ein zentraler Zuführungskanal vorgesehen ist. 30
29. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pufferspeicher (122) für das Arbeitsgas vorgesehen ist. 35
30. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Arbeitsgas zur Gegenelektrodenkühlung einsetzbar ist. 40
31. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Gegenelektrodenhalter (40) vorgesehen ist, der einen oder mehrere Kanäle (128) umfaßt, durch die Arbeitsgas der Brennkammer (26) zuführbar ist. 45
32. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Gegenelektrodenhalter (40) um eine Gegenelektrode (40) ein im Querschnitt ringartiger Spalt (134) gebildet ist. 50
33. Plasmabrenner nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, daß ein im Querschnitt ringartiger Spalt (134) kegelförmig ausgebildet ist mit einer Neigung in Richtung der Gegenelektrode (40). 55
34. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 31 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Kanäle (128) in Richtung der Brennkammerachse (16) geneigt sind.
35. Plasmabrenner nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß beim Eintritt des Arbeitsgases in die Brennkammer (26) ein Drall erzeugbar ist.
36. Plasmabrenner nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß der Drall gleichsinnig oder gegensinnig zur Strömung eines Zusatzwerkstoffes in die Brennkammer (26) ist.
37. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) bezüglich des Brennraums (28) verschieblich ist.
38. Plasmabrenner nach Anspruch 37, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) während des Betriebs des Plasmabrenners in ihrer axialen Stellung verstellbar ist.
39. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Strombeaufschlagung jeder Gegenelektrode unabhängig von derjenigen der anderen Gegenelektroden einstellbar und steuerbar und/oder regelbar ist.
40. Plasmabrenner nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, daß eine Stromversorgung für jeweils ein Elektrodenpaar Gegenelektrode und zugeordneter Brennkammer-Elektrode vorgesehen ist.
41. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein oder mehrere Netzgeräte für die Stromversorgung der Elektroden vorgesehen sind.
42. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stromversorgung der Elektroden Hochfrequenzpulse überlagerbar sind.
43. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Zusatzheizung für die Brennkammer (26) vorgesehen ist.
44. Plasmabrenner nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung dadurch gebildet ist, daß der elektrischen Energieversorgung der Elektroden (120) ein Drehstrom überlagert wird.
45. Plasmabrenner nach Anspruch 43 oder 44, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung eine oder

- mehrere Elektroden (180) umfaßt, welche quer zur Brennkammerachse (16) in die Brennkammer (26) weisen.
46. Plasmabrenner nach Anspruch 45, dadurch gekennzeichnet, daß eine Elektrode (180) einer Zusatzheizung im wesentlichen in einer radialen Richtung der Brennkammer (26) ausgerichtet ist. 5
47. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 43 bis 46, dadurch gekennzeichnet, daß die Zusatzheizung mittels Gleichstrom und/oder Wechselstrom und/oder Drehstrom betätigbar ist. 10
48. Plasmabrenner nach einem der Ansprüche 10 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß ein Düsensegment (30) der Plasmadüse, welches den engsten Querschnitt umfaßt, einen konvergenten Teil (36) und einen sich anschließend schwach divergenten Teil (42) aufweist. 15 20
49. Plasmabrenner nach Anspruch 48, dadurch gekennzeichnet, daß eine Gegenelektrode (120) und die Brennkammer-Elektroden (30, 66, 76) so angeordnet sind, daß ein Lichtbogen durch den engsten Querschnitt der Plasmadüse durchführbar ist. 25
50. Plasmabrenner nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff stromabwärts bezüglich einer Zusatzheizung für die Brennkammer (26) einführbar ist. 30
51. Plasmatriebwerk gekennzeichnet durch einen Plasmabrenner gemäß einem der vorangehenden Ansprüche. 35
52. Plasmatriebwerk nach Anspruch 51, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatzwerkstoff ein flüssiges Medium ist. 40
53. Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls, bei welchem in einer Brennkammer ein Lichtbogen zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode erzeugt wird, dadurch gekennzeichnet, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgende Brennkammer-Elektroden umfaßt und daß die Brennkammer-Elektroden individuell gesteuert und/oder geregelt mit Strom beaufschlagt werden, um den Lichtbogen in der Brennkammer zu steuern und/oder zu regeln. 45 50
54. Verfahren nach Anspruch 53, dadurch gekennzeichnet, daß Zusatzwerkstoff über eine oder mehrere Zuführeinrichtungen, welche zwischen benachbarten Brennkammer-Elektroden angeordnet sind, in die Brennkammer eingeblasen wird. 55
55. Verfahren nach Anspruch 53 oder 54, dadurch gekennzeichnet, daß der Zusatzwerkstoff in eine Unterschallströmung oder höchstens eine schallnahe Überschallströmung in der Brennkammer eingeblasen wird.



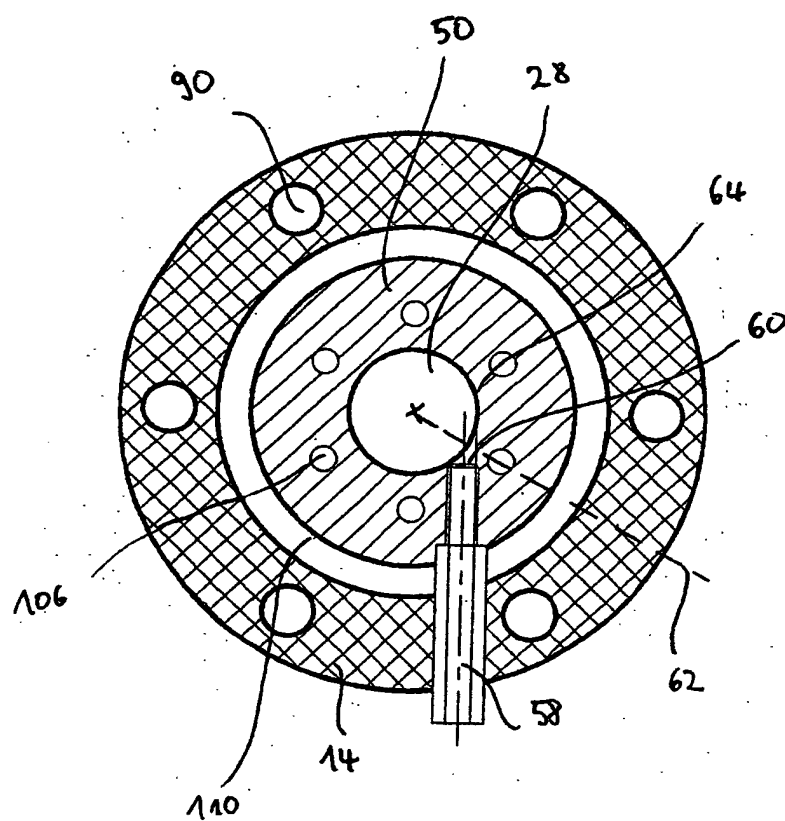


Fig. 2

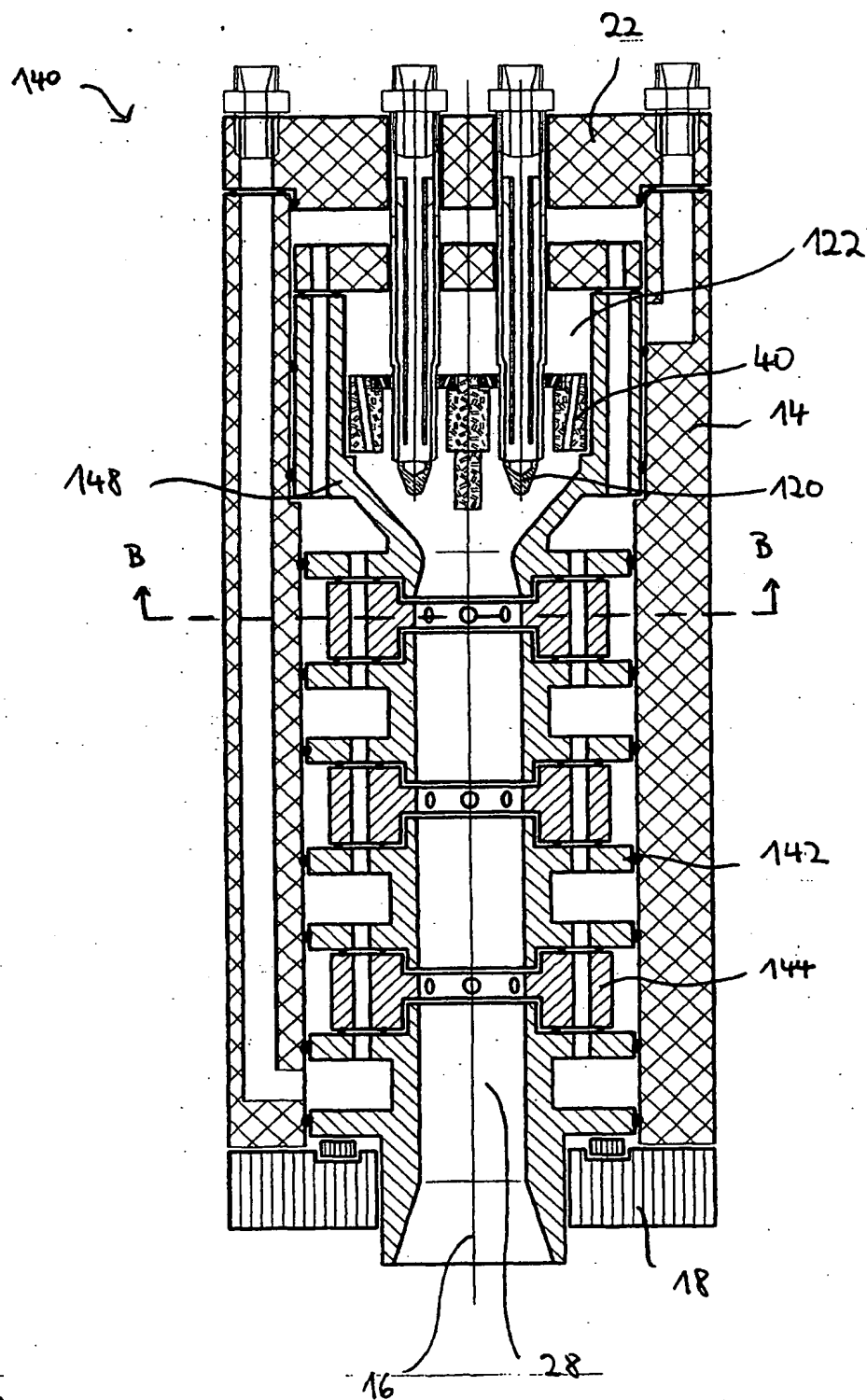


Fig. 3

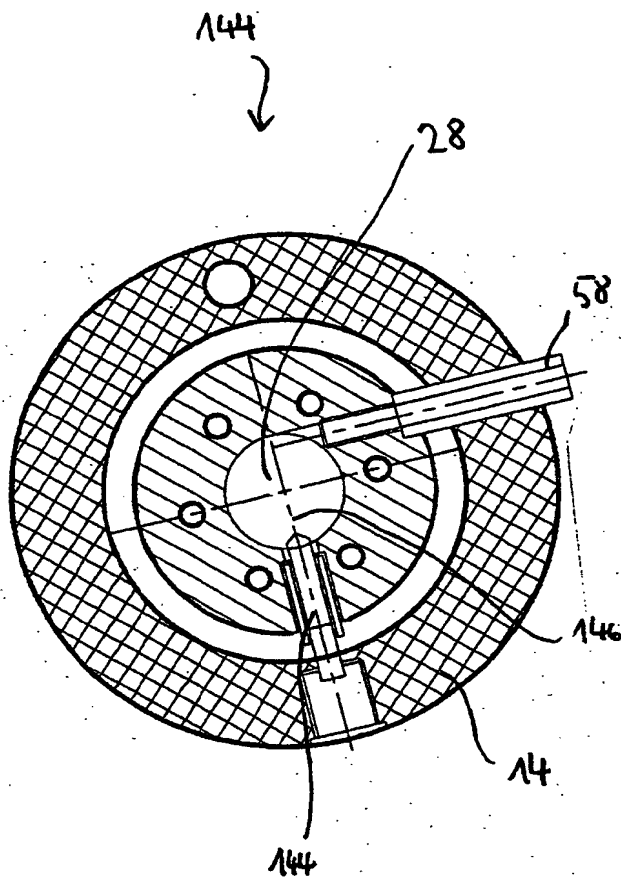
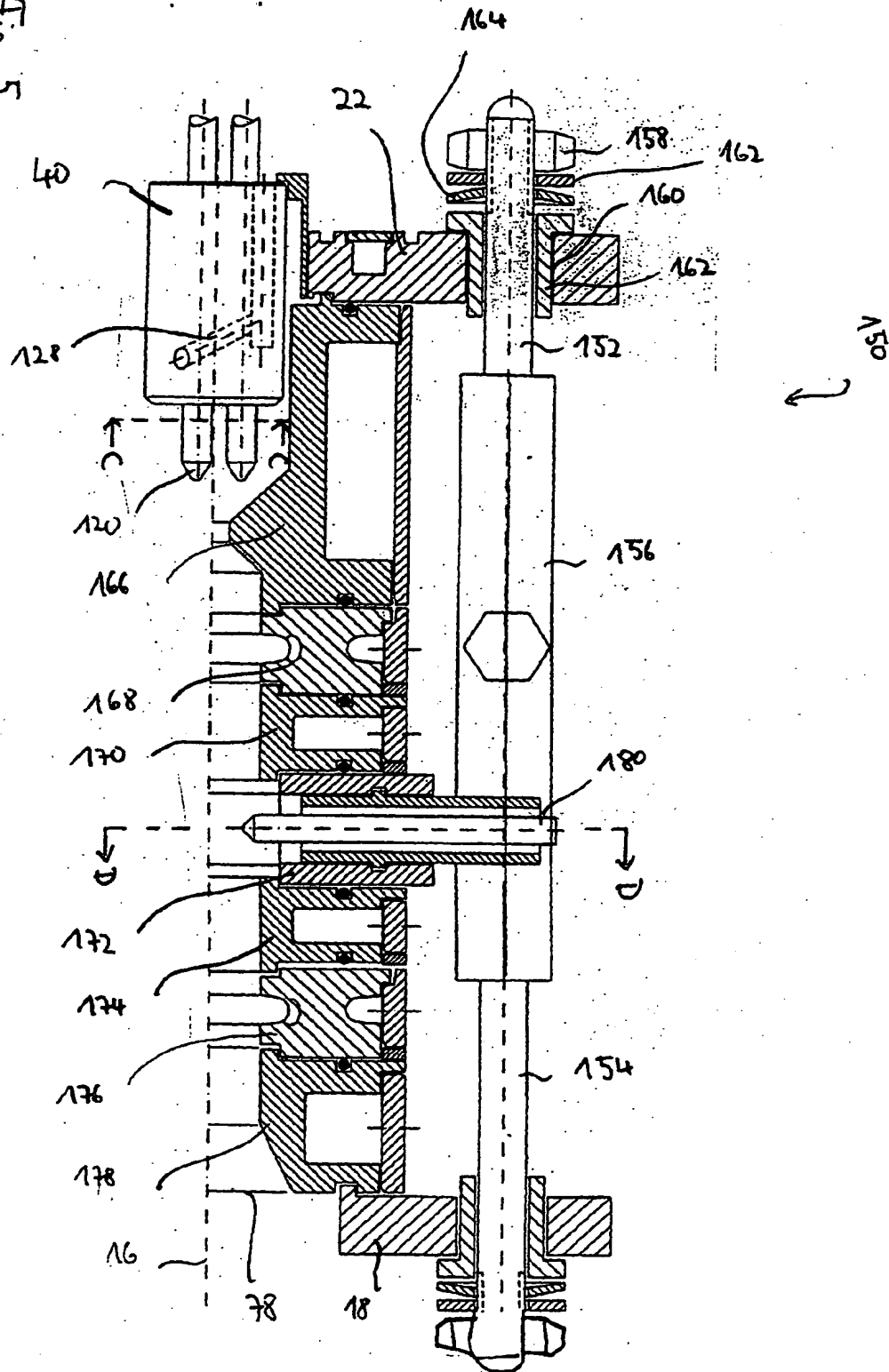


Fig. 4

Fig. 5



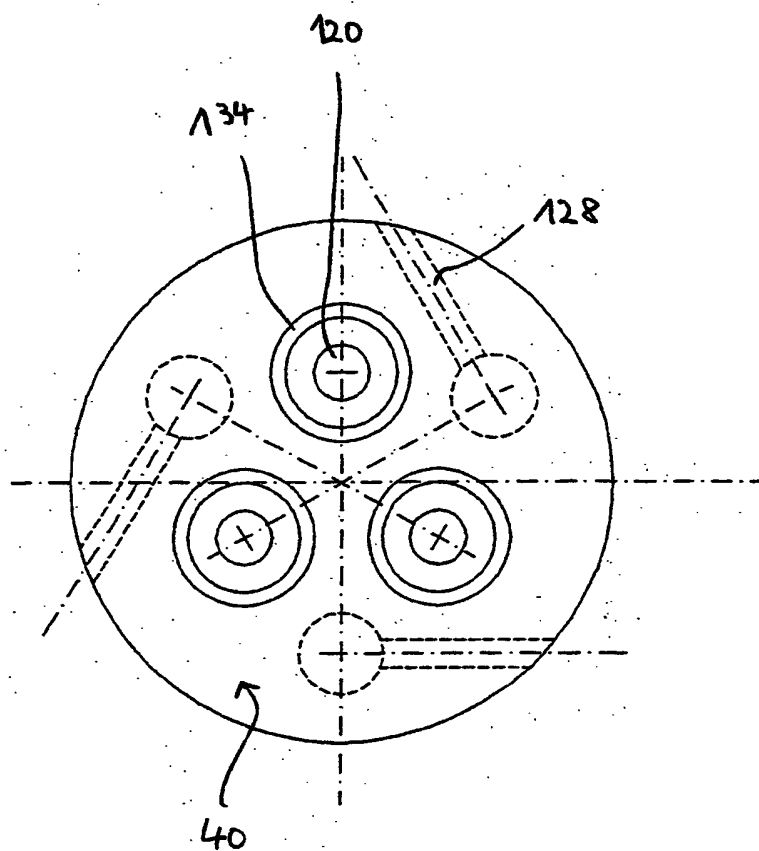
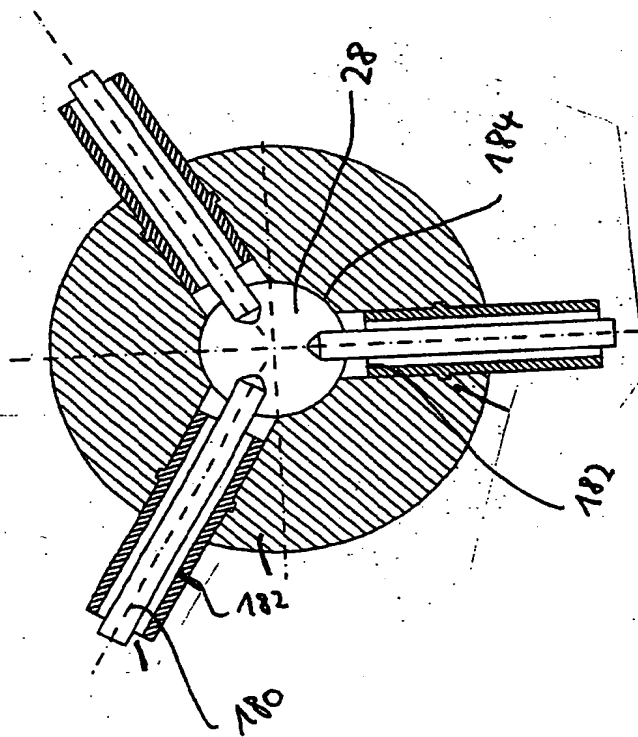


Fig. 6

Fig. 7





(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 113 711 A3

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(88) Veröffentlichungstag A3:
18.12.2002 Patentblatt 2002/51

(51) Int Cl.7: **H05H 1/34**

(43) Veröffentlichungstag A2:
04.07.2001 Patentblatt 2001/27

(21) Anmeldenummer: **00128326.6**

(22) Anmeldetag: **22.12.2000**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE CH CY DE DK ES FI FR GB GR IE IT LI LU
MC NL PT SE TR**
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK RO SI

(71) Anmelder: **GTV-Gesellschaft für thermischen
Verschleiß-Schutz mbh
57629 Luckenbach (DE)**

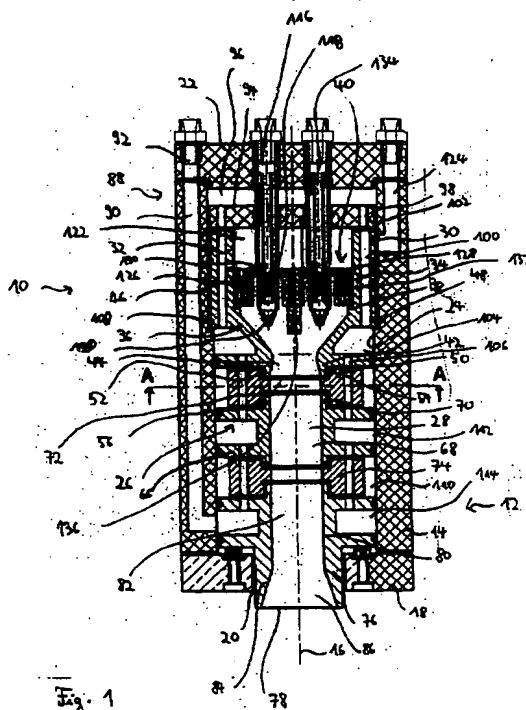
(72) Erfinder: **Peschka, Walter, Prof. Dr.
71065 Sindelfingen (DE)**

(30) Priorität: **31.12.1999 DE 19963904**

(74) Vertreter: **Hoeger, Stellrecht & Partner
Uhlandstrasse 14 c
70182 Stuttgart (DE)**

(54) **Plasmabrenner und Verfahren zur Erzeugung eines Plasmastrahls**

(57) Um einen Plasmabrenner mit einer Brennkammer, in welcher zwischen einer Elektrode und einer Gegenelektrode ein Lichtbogen erzeugbar ist und dem ein Arbeitsgas zur Plasmabildung zuführbar ist, zu schaffen, welcher variabel einsetzbar ist, wird vorgeschlagen, daß die Brennkammer eine Mehrzahl von Brennkammer-Elektroden umfaßt, welche in axialer Richtung bezüglich einer Brennkammerachse aufeinanderfolgend angeordnet sind, wobei jede einzelne Brennkammer-Elektrode individuell strombeaufschlagbar ist.



EP 1 113 711 A3



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 12 8326

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
X	US 3 149 222 A (DUCATI ADRIANO C ET AL) 15. September 1964 (1964-09-15)	1-3, 9-11, 14, 17, 18, 20, 22, 41, 48, 51-53	H05H1/34
A	* Spalte 2, Zeile 15 - Zeile 32 * * Spalte 3, Zeile 4 - Zeile 21 * * Spalte 4, Zeile 73 - Spalte 5, Zeile 14; Abbildungen 1, 4, 5 *	5, 6, 13, 28, 40	
X	US 4 620 080 A (ARATA YOSHIKI ET AL) 28. Oktober 1986 (1986-10-28)	1, 9-11, 14, 15, 17, 18, 22, 23, 41, 51-54	
A	* Spalte 2, Zeile 22 - Zeile 66 * * Spalte 4, Zeile 1 - Zeile 41 * * Spalte 5, Zeile 52 - Zeile 62 * * Abbildungen 1, 2, 7, 8 *	2, 5, 19	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
A	US 3 309 550 A (KEMENY GEORGE A ET AL) 14. März 1967 (1967-03-14)	1, 2, 5, 9, 10, 12, 14, 17, 19, 48, 51-54	H05H
A	* Spalte 1, Zeile 59 - Spalte 2, Zeile 58 * * Spalte 3, Zeile 28 - Zeile 35 * * Spalte 6, Zeile 3 - Zeile 13 * * Abbildungen 1, 2B *		
A	EP D 289 961 A (PERKIN ELMER CORP) 9. November 1988 (1988-11-09) * Spalte 3, Zeile 32 - Spalte 5, Zeile 50; Abbildung *	37-383	
-/--			
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort DEN HAAG		Abschlußdatum der Recherche 25. Oktober 2002	Prüfer Capostagno, E
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur</p> <p>T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1503 03 82 (Pact01)



Europäisches
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 00 12 8326

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
D, A	<p>US 5 332 885 A (LANDES KLAUS)</p> <p>26. Juli 1994 (1994-07-26)</p> <p>* Spalte 3, Zeile 54 - Spalte 4, Zeile 6.*</p> <p>* Spalte 5, Zeile 66 - Spalte 6, Zeile 15 *</p> <p>* Spalte 7, Zeile 29 - Zeile 45 *</p> <p>* Spalte 9, Zeile 10 - Spalte 10, Zeile 10; Abbildungen 1,4,6,8 *</p>	<p>22, 24,</p> <p>26-28,</p> <p>30, 31,</p> <p>34-36</p>	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
<p>Recherchenort</p> <p>DEN HAAG</p>		<p>Abschlußdatum der Recherche</p> <p>25. Oktober 2002</p>	<p>Prüfer</p> <p>Capostagno, E</p>
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X: von besonderer Bedeutung allein betrachtet</p> <p>Y: von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie</p> <p>A: technologischer Hintergrund</p> <p>O: nichtschriftliche Offenbarung</p> <p>P: Zwischenliteratur</p> <p>T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</p> <p>E: älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>D: in der Anmeldung angeführtes Dokument</p> <p>L: aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>&: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			

EPO FORM 1903 03 02 (P04003)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 00 12 8326

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patendokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

25-10-2002

Im Recherchenbericht angeführtes Patendokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3149222 A	15-09-1964	KEINE	
US 4620080 A	28-10-1986	JP 2056060 C JP 7063033 B JP 61013600 A DE 3522888 A1 GB 2163629 A , B	23-05-1996 05-07-1995 21-01-1986 02-01-1986 26-02-1986
US 3309550 A	14-03-1967	CH 431751 A DE 1245509 B DE 1244990 B FR 1426553 A FR 1426554 A GB 1023740 A GB 1023730 A US 3343019 A	15-03-1967 27-07-1967 20-07-1967 15-04-1966 15-04-1966 23-03-1966 23-03-1966 19-09-1967
EP 0289961 A	09-11-1988	US 4788408 A BR 8802237 A CA 1302517 A1 CN 88102744 A , B DE 3884993 D1 DE 3884993 T2 EP 0289961 A2 JP 1007944 A JP 2097381 C JP 8012798 B	29-11-1988 06-12-1988 02-06-1992 16-11-1988 25-11-1993 17-02-1994 09-11-1988 11-01-1989 02-10-1996 07-02-1996
US 5332885 A	26-07-1994	DE 4105407 A1 AT 136190 T CA 2061181 A1 DE 59205803 D1 EP 0500492 A1 JP 3131001 B2 JP 5084455 A	27-08-1992 15-04-1996 22-08-1992 02-05-1996 26-08-1992 31-01-2001 06-04-1993

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82



INTERNATIONAL APPLICATION PUBLISHED UNDER THE PATENT COOPERATION TREATY (PCT)

(51) International Patent Classification⁴ :

H05H 1/34, H05B 7/18

A1

(11) International Publication Number:

WO 90/03095

(43) International Publication Date:

22 March 1990 (22.03.90)

(21) International Application Number: PCT/AU89/00396

(22) International Filing Date: 13 September 1989 (13.09.89)

(30) Priority data:

PJ 0388

13 September 1988 (13.09.88) AU

(71) Applicants (for all designated States except US): COMMON-WEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION [AU/AU]; Limestone Avenue, Campbell, ACT 2601 (AU). SIDDONS RAMSET LIMITED [AU/AU]; 58 Dougharty Road, Heidelberg West, VIC 3084 (AU).

(72) Inventors; and

(75) Inventors/Applicants (for US only): DOOLETTE, Ashley, Grant [AU/AU]; 4/15 Ballantyne Street, Thornbury, VIC 3071 (AU). OPPENLANDER, Walter, Tilman [DE/AU]; 6 Macka Avenue, Greensborough, VIC 3088 (AU). RAMAKRISHNAN, Subramania [AU/AU]; 4 Legend Avenue, Glen Waverley, VIC 3150 (AU).

(74) Agent: PHILLIPS, ORMONDE & FITZPATRICK; 367 Collins Street, Melbourne, VIC 3000 (AU).

(81) Designated States: AT (European patent), AU, BE (European patent), CH (European patent), DE (European patent), FR (European patent), GB (European patent), IT (European patent), JP, LU (European patent), NL (European patent), SE (European patent), US.

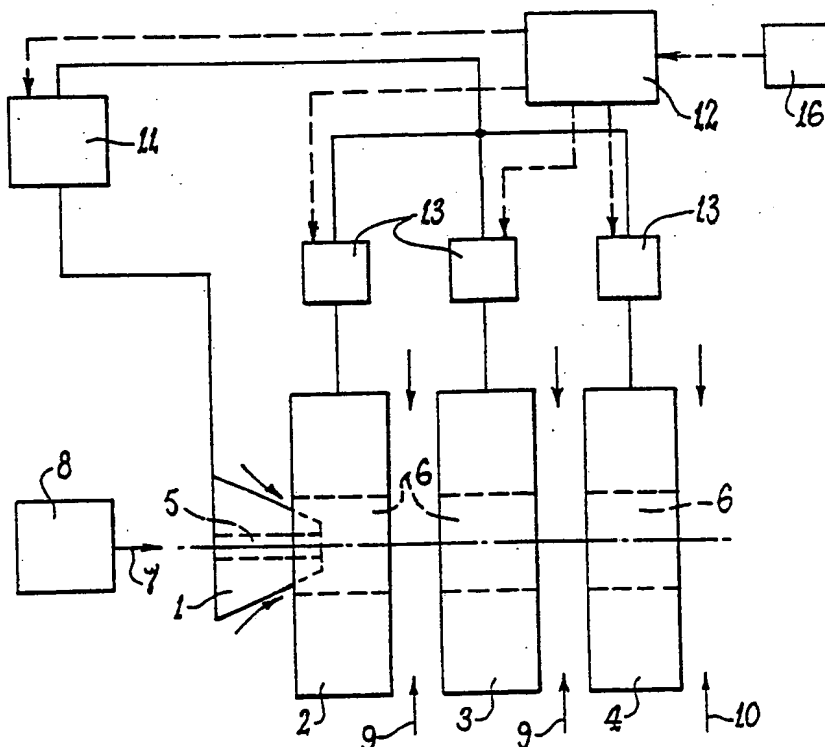
Published

With international search report.

(54) Title: ELECTRIC ARC GENERATING DEVICE

(57) Abstract

An electric arc generating device including, a first electrode (1) and at least two further electrodes (2, 3, 4). A source of electrical power (11) is connectable to said electrodes so as to cause an arc to burn between the first electrode and one of the further electrodes. The distribution of power within the zone of the arc is controlled by repetitively changing the path of the arc. That is, one root of the arc may remain attached to the first electrode, whereas attachment of the other root is transferred between two or more of the further electrodes on a repetitive basis. The timing and extent of each change may vary according to circumstances of use. The changes in arc path are due at least in part to repetitive modification of the influence of the power source on one or more of the further electrodes, but variation of the flow rate of gas/material (7, 9, 10) through the arc zone (6) can be another controlling factor.



FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AT	Austria	ES	Spain	MG	Madagascar
AU	Australia	FI	Finland	ML	Mali
BB	Barbados	FR	France	MR	Mauritania
BE	Belgium	GA	Gabon	MW	Malawi
BF	Burkina Fasso	GB	United Kingdom	NL	Netherlands
BG	Bulgaria	HU	Hungary	NO	Norway
BJ	Benin	IT	Italy	RO	Romania
BR	Brazil	JP	Japan	SD	Sudan
CA	Canada	KP	Democratic People's Republic of Korea	SE	Sweden
CF	Central African Republic	KR	Republic of Korea	SN	Senegal
CG	Congo	LI	Liechtenstein	SU	Soviet Union
CH	Switzerland	LK	Sri Lanka	TD	Chad
CM	Cameroon	LU	Luxembourg	TG	Togo
DE	Germany, Federal Republic of	MC	Monaco	US	United States of America
DK	Denmark				

"ELECTRIC ARC GENERATING DEVICE"

This invention is concerned with the generation of electric arcs and is particularly although not exclusively concerned with plasma torches for spraying, arc heaters and arc furnaces.

In the context of this specification, an electric arc is to be understood as an electric discharge in a gaseous medium sustained between spaced electrodes by the passage of relatively large currents and characterised by low voltage drops at the cathode. The properties of the electric arc are influenced by a number of parameters such as the arc current, the fluid dynamics, the containment, the electrode material temperature and shape, the external magnetic fields (if used), and the gas in which the arc burns.

The gas in an electric arc attains very high temperatures (6000 - 30000 K) and for that reason electric arcs have been proposed for use in a variety of industrial processes and applications which require very high temperatures. In many applications, an electric arc at a current of hundreds of amperes is allowed to burn between two electrodes within a chamber which may be identified as a plasma torch, or an arc heater, or an arc reactor. Gas of suitable composition is forced to flow through the arc region of the heater so that the thermal energy liberated by the arc is transferred to the gas to produce a high-temperature gas stream at the exit of the arc heater. This high-temperature gas produced by the arc heater can be used for the treatment of materials at high temperatures or the treatment of surfaces. U.S. patent 3,832,519 (Westinghouse) is directed to an electric arc reactor which has been considered useful in

the destruction of hazardous waste at high temperatures. The APG ("NOVA") advanced plasma gun developed by Metco and which is the subject of U.S. Patent 4,780,591, is another example of an arc heater used for melting and spraying of powders.

5 In some applications related to material treatment using an electric arc, the material to be treated is injected into the region of the electric arc within an arc reactor to increase the resident time of the material in a high-temperature environment. Patent application PCT/AU89/00216
10 entitled "Electric Arc Reactor" describes a method of injecting material into the core of an electric arc.

Effective and broad ranging control of arc power is important in devices such as plasma spraying torches, arc heaters and arc reactors for material treatment to attain high
15 process efficiency and quality. The ability to select any of a variety of methods and location of material feed is also important, but the majority of prior devices only provide for injection of material near the exit of the device and therefore away from a location at which direct interaction
20 with the arc would be possible. If material is fed in such a way that interaction of the material with the electric arc takes place, then a control of the power distribution within the arc region is important. That will also apply when the material is fed further downstream into the arc flame.

25 In prior devices, the main method of control of arc power is achieved by operating the arc at different levels of arc current and/or by changing the composition and the flow rate of the gas in which the arc burns. A consequence of these variations may result in a change of the arc length in a
30 few devices, but such a change is generally small. In a

device such as the APG plasma gun of Metco, the main control parameter is the arc length which is effected by moving mechanically one of the electrodes of the arc with respect to the other while maintaining the arc current to be the same.

5 Arc heaters have also been proposed in which arc lengthening is achieved by the use of electrical switches during the start-up of the heater, and an example of such a heater is the well known Tioxide torch. Systems with multiple arcs operated from different supplies have been proposed with the main

10 intention of distributing the arc activity over a larger volume for material injection into the arc. Apart from the APG plasma gun of Metco, all prior devices do not provide a large range of operating power level and sufficient flexibility of control. Although the APG plasma gun allows

15 the possibility of greater adjustment of arc power, that adjustment is of a mechanical nature and cannot be carried out quickly.

It is an object of the present invention to provide a device of the foregoing kind which permits a substantial

20 degree of control over arc power without the use of mechanical movement. It is a further object of the invention to provide such a device which has the capacity for rapid variation of arc power and power distribution. Other objects and advantages of the invention will be apparent from the

25 following detailed description of a particular embodiment of the invention.

The invention also contemplates an improved method of treating material by controlling the interaction of the material with or influence by an electric arc, and the nature

30 of that method, in its various possible forms, will be

apparent from the following description.

5 In accordance with one aspect of the present invention, there is provided an electric arc generating device including, a first electrode, at least two further electrodes, supply means for connecting an electrical power source between said first electrode and any one or more of said further electrodes so as to cause an arc to be generated between said first electrode and a said further electrode, and control means which is operative to repetitively change the path of said arc between said first electrode and said further electrodes and thereby control the distribution of power within the arc zone, said control means including electrical means which imposes an electrical influence on said arc path.

10 It is to be understood that the word "repetitively" as used in the preceding paragraph and subsequently throughout this specification does not necessarily mean that there is consistency in the timing or extent of each change in arc path. The time and extent of each change will be according to the demands of the circumstances of use of the device. The pattern and nature of the changes which occur over a period of time might be quite irregular.

20 In accordance with another aspect of the invention, there is provided a method of operating an electric arc generating device having a first electrode and at least two further electrodes, including the steps of connecting an electrical power source to said electrodes so as to cause an arc to be generated between the first electrode and one of said further electrodes, controlling the distribution of power within said arc by repetitively changing the path of said arc, and at least contributing to said control by repetitively

25

30

modifying the influence of said power source on one or more of said further electrodes.

A device according to the invention is characterised in that the electric arc can be generated between different electrodes within a group of three or more electrodes. In one arrangement, for example, one electrode forms the cathode and there are two or more anodes which are individually controllable electrically as required. The fundamental feature of the invention is the use of three or more electrodes and controlled activation of those electrodes in such a way that the path and the distribution of the electric current flowing from the electric arc to the external power source are varied to control the total arc power and its distribution within the electric arc.

It is another characteristic of a device according to a preferred form of the invention that gases and material such as powders and liquids, can be fed into the arc or the region of the arc in various ways and at various locations. Such feed may involve directing material laterally into the arc column at a location between the ends of that column, and that can be effected through passageways provided between the electrodes. Alternatively or additionally, material may be introduced into the device at either end of the arc, and the direction of introduction can be lateral or axial. Such versatility of the device enables full advantage to be taken of the controllable power distribution.

Embodiments of the invention are described in detail in the following passages of the specification which refer to the accompanying drawings. The drawings, however, are merely illustrative of how the invention might be put into effect, so

that the specific form and arrangement of the various features as shown is not to be understood as limiting on the invention.

In the drawings:

Figure 1 is a diagrammatic representation of one embodiment of the invention,

Figure 2 is a diagrammatic representation based on Figure 1 showing changes in the arc path,

Figure 3 is a diagrammatic representation of another embodiment of the invention,

Figure 4 is a diagrammatic representation of yet another embodiment of the invention.

The device of Figure 1 includes a core electrode 1 which, by way of example, functions as a cathode and is of generally conical form, and two or more annular ring electrodes 2, 3 and 4, each of which has the potential to function as an anode in the particular example shown. The electrodes 1, 2, 3 and 4 are arranged in substantially coaxial relationship as shown and the ring electrodes 2, 3 and 4 are arranged in axially spaced relationship. The core electrode 1 could be axially spaced from the nearest ring electrode 2, but in the example shown, it intrudes into the ring electrode 2. It is possible that one of the electrodes of the device is a consumable electrode in the form of wire, for example, which is replenished by a suitable electrode-feeding system.

Appropriate cooling means can be provided for each of the electrodes 1 to 4.

It is to be understood that the form and arrangement of each electrode could be different to that shown in Figure 1. For example, the core electrode 1 could be of rod-like form and contain a cavity as described in patent application

PCT/AU89/00216 entitled "Electric Arc Reactor". In that regard, the disclosure of the specification of that earlier application is to be understood as being imported by cross reference into the present specification. Alternatively, the electrode 1 could be a ring electrode. Any configuration of electrodes which permits changing of the arc path and employment of suitable gas/material flow, could be adopted.

An axial feed passage 5 is shown extending through the core electrode 1 of the Figure 1 device. That passage 5 can be used to inject gas and/or other material into and through the central openings 6 of the ring electrodes 2, 3 and 4. The arrow 7 represents feed of gas and/or other material into the passage 5, and the block 8 represents means which may be provided to permit regulation of the rate of flow of gas and/or other material into the passage 5.

Feed passages for gas and/or other material may be provided between any two adjacent electrodes 2, 3 and 4, and the arrows 9 represent the feed of material into such passages. Those passages may be additional to, or alternative to, the passage 5, and it will be convenient to hereinafter refer to those passages as lateral feed passages. Gas and/or other material can also be introduced into the device at a location beyond the last ring electrode 4 in the group as is represented by arrows 10. Gas fed into the device at a location before the last ring electrode 4 emerges as a jet from the central opening of that electrode 4.

If desired, passive spacers may be located between each two adjacent ring electrodes, in which event the aforementioned lateral feed passages may be formed through such spacers.

5 The gas composition to be used with the device may vary according to the use application of the device, but could be argon, nitrogen, air, or any mixture of inert and reactive gases. The material from which the electrodes are made will need to be selected to suit the circumstances of use. Different gases or combinations of gases can be used at each injection or feed introduction point as referred to above. In the case of lateral injection of gas, it is generally preferred that the injection be substantially uniform around the axis of the device and in a direction having a tangential component so as to induce swirl in the gas stream. That swirl characteristic tends to cause the point of attachment between the arc and each electrode to rotate about the relevant surface of the electrode, thereby reducing localised heating and erosion of the electrode. The swirling action also assists in stabilising the arc column and mixing of the injected material and its interaction with the arc.

10 If desired, the device may include means whereby an axial magnetic field can be generated so as to assist the rotation of the points of arc attachment to the electrodes.

20 Material to be treated by the device can be of any suitable form. For example, that material can be in the form of wire or the like, solid particles or liquid droplets, and in either case the material can be introduced suspended in a gas stream introduced at any one of the injection points referred to above. Injection into the arc can be achieved in the manner described in the cross referenced patent application PCT/AU89/00216. Furthermore, the type and form of the material can be different at each injection point.

25 30 An appropriate power source 11 is provided to enable the

activation of the electrodes as shown diagrammatically in Figure 1 and control means 12 is provided for controlling individually the current drawn by the electrodes 2, 3 and 4. In the Figure 1 arrangement, the control means 12 includes means for controlling the power source 11 and further means for controlling a number of current control elements 13, each of which is connected to a respective one of the ring electrodes 2, 3 and 4. The current control element 13 connected to each ring electrode 2, 3 and 4 can be in the form of passive circuit components such as resistors and inductors, or active power electronic circuit elements such as transistors, or any combination of these elements. An important advantage of the arrangement shown is that the control elements 13 connected to the ring electrodes 2, 3 and 4 are controlled in such a way that the current flowing in each of the individual element 2, 3 and 4 is adjusted to yield a desired current distribution and hence a power distribution in the device. The power source 11 may be a constant-current type power source to maintain the required overall current through the device, or the source may be suitably controlled to give an optimum overall power. The ring electrodes 2, 3 and 4 may be operated as cathodes or anodes of the electric arc by connecting them to either the negative or the positive terminal of the power source 11.

In the power/control circuit of Figure 1, and other Figures of the drawings, the unbroken lines are representative of the current path whereas the broken lines are representative of control paths.

Figure 2 shows, in diagrammatic form, the consequences of the control system shown in Figure 1. Initially, an arc 14

may be generated between the electrodes 1 and 2, and suitable operation of the control means 12 can create a change in the electrical influence on the arc 14 such that its path is shifted. In particular, the downstream root 15 of the arc 14 can be caused to shift from the electrode 2 to the electrode 3, and subsequently to the electrode 4 if desired. The extent of the arc path is thereby changed as shown in broken line in Figure 2.

By suitable operation of the control means 12, it is possible to achieve rapid and repetitive changes in the arc path and thereby effectively control the power and power density distribution within the electrical arc device. That power distribution may be controlled in terms of space (extent of influence) and/or time (frequency and timing of change). In some circumstances, it may be desired to maintain a predetermined level of power and/or extent of distribution over a period of time, and that can be achieved by repetitive changing of the arc path to compensate for changes in power level and/or distribution which would otherwise occur.

Suitable control parameters may be imposed on the control means 12 through a suitable source 16 as shown diagrammatically in Figure 1.

Change in arc path need not be controlled solely by electrical influence as described above. The rate of flow of gas and/or material through the device, and particularly through the zone of the arc 14, can have an influence on the extent of the arc. Consequently, variation of that flow rate can be a factor in controlling changes in the arc path. In that regard, the flow rate can be adjusted by operation of the regulator means 8 (Figure 1). That same means 8, or similar

means, can be used to regulate the flow rate at the material feeds 9 and 10.

It is to be understood that the change in arc path can be sudden or progressive according to requirements. In the latter case, it may happen that the arc 14 is split, at least temporarily, so as to have two paths. For example, one path of the split arc may extend to the electrode 2 and the other path may extend to the electrode 3. That is, there will be two downstream root attachments 15 which are spaced apart in the axial direction of the device, and a single upstream root attachment 17 (Figure 2).

Figure 3 shows, in diagrammatic form, an arrangement which is a variation of that shown in Figure 1. Components of that variation which correspond to components of the Figure 1 arrangement, will be given like reference numerals, but in the number series 100 to 199.

Insulating means 119 is provided between adjacent electrodes in the Figure 3 arrangement, and passages for the material feeds 109 can be provided in some or all of those insulating means 119.

In the Figure 3 arrangement, the control of the current distribution between the ring electrodes 102, 103, 104 and 118, is achieved by the use of appropriate switching means 113 which can operate at either a slow rate or at a rapid rate in comparison with the thermal times associated with the arc, or the material being treated by the device, so that the arc is kept in a substantially quasi-static condition. Initiation of the arc is effected by applying a suitable trigger voltage between the core electrode 101 and the adjacent ring electrode 102. During arc initiation, the electrode 102 is rendered

active by connecting that electrode to the power source 111 with the respective switch means 113 in a closed position. The respective switch means 113 connected to each of the other ring electrodes 103, 104 and 118, may be left in a closed or an open position depending on material/gas flow conditions through the device. Immediately after arc initiation, the arc will burn between the core electrode 101 and the ring electrode 102.

After arc initiation, the arc can be transferred to burn between the core electrode 101 and any one of the other ring electrodes 103, 104 and 118, by closing the respective switch means 113 connected to the required ring electrode and opening the switch means 113 connected to the ring electrode 102. For example, to make the arc burn between the core electrode 101 and the ring electrode 104, the switch means 113 connected to the ring electrode 104 is closed and the switch means 113 connected to ring electrode 102 is then opened. The direction of gas flow through the device, the electrical conductivity of the hot gas, the voltage of the power source 111 and any overvoltages created by inductances in the system assist the arc transfer to the required ring electrode. In some applications, the extent of the change in the arc path length may be such that it is necessary to transfer the arc sequentially from an upstream ring electrode to an adjacent downstream electrode so as to guard against extinction of the arc.

The arc burning between the core electrode 101 and a ring electrode located in the downstream region of gas flow can be transferred back or retracted to a ring electrode located in a region upstream of the arcing electrode by

closing the switch means connected to the new arcing electrode and if necessary, opening the switch means connected to the old, downstream, arcing electrode. For example, to transfer back or retract the arc from electrode 104 to the ring electrode 103, the switch means 113 connected to ring electrode 103 is closed; and the switch means 113 connected to ring electrode 104 may be opened or left closed depending upon the gas flow conditions.

Additional transfers and consequent extension or retraction of the arc column can be achieved in a device having more than three ring electrodes.

The switching between ring electrodes, either during extension, retraction, or sharing of the arc current, can be achieved in such a sequence as to produce a required current distribution within the arc. When the current distribution within the arc is varied, the distribution of power released in the arc varies thereby providing a means of controlling the arc power and its other properties such as temperature, pressure, etc.

The device can be operated in at least two basic modes of controlled operation. In one mode (termed for convenience as the slow mode of operation), the arc can be allowed to burn on any one of the ring electrodes for a duration (of approximately 0.1 second or longer), which is large in comparison with the thermal time constant of the arc, before it is transferred to any other ring electrode. This type of control provides a means to control the power of the arc in the device in a stepwise manner. It is to be understood, however, that the transfer of the arc from one ring electrode to another can be effected extremely rapidly by the use of

electronic switching means even under the slow mode of operation. Suitable control of the power source can also be used in conjunction with the transfer of the arc between ring electrodes within the device. The transfer of the arc between electrodes within the device and the control of the power source can be linked to a higher level control to achieve a required power distribution and total power.

The second mode of operation (termed for convenience as the fast mode of operation) is effected by transferring the arc between all or only a few of the ring electrodes of the device at a rate rapid enough so that the dwell time of the arc at any particular ring electrode is smaller than the thermal time constant of the arc plasma. In this fast mode of operation, the power distribution and the power of the arc can be controlled by varying the dwell time of the arc on any particular ring electrode. In this case, the term dwell time of the arc on a ring electrode implies the duration of current flow from the arc to the ring electrode during one transfer. While operating in the fast mode of operation, the arc plasma in the device is near a quasi-static condition and the average current drawn by the electrodes and hence the average power of the arc are varied by varying the arc dwell times on the different ring electrodes of the device. It is to be understood that the power source can also be controlled in conjunction with the fast operation of the device.

The two modes described above represent the two extreme ways of switched operation which are substantially different. In the slow mode, the plasma properties (temperature, density, flow, speed, viscosity, etc.) change with the switching of the current path and control of the power distribution occurs in a

time-averaged sense. The advantage of this mode is that repetitively altering conditions can be produced if desired which can be of advantage for the injection of powder into the arc, for example. In contrast to this, the fast mode
5 essentially produces a quasi steady state of the plasma parameters and their distributions which can be changed by varying the dwell times as described.

It is to be understood that a static situation can also be achieved in the slow mode by using current control elements
10 which allow the current to flow to the different electrodes at the same time continuously. A method by which this can be done without dissipative losses is a switched inductive circuit with free wheeling paths. This provides an impedance decoupling between the different electrodes and allows the
15 arcs to burn stably in parallel.

The device can be operated under a variety of different modes of operation including a mode which makes use of the two basic modes of operation described above.

In yet another method of using the device, the rate of
20 gas flow through the device is increased to supersonic level so that associated shock fronts or waves are produced. For an appropriately adjusted gas flow, rapid transitions between subsonic and supersonic flow conditions can be achieved by altering the electrical power input by way of a switching
25 technique. In situations where the device is used for spraying materials to coat an object, shock fronts produced in the foregoing manner could be beneficial in producing thick and dense coatings.

Figure 4 shows another embodiment of the invention which
30 may be used to produce hot gas for material treatment or for

use in surface treatment such as plasma spraying. Since the device shown in Figure 4 is essentially the same as that shown in Figure 3, the same reference numerals will be used.

5 The device shown in Figure 4 has a number of coaxially arranged ring electrodes 102, 103, 104 and 118 separated from each other by suitable insulators 119. In this embodiment, only two of the ring electrodes, 102 and 118, are used to control the arc current distribution and the arc power distribution. This device uses only one switch means 113 to
10 transfer the current from one ring electrode to the other. This device can be operated in both the slow and fast modes of operation. In the fast mode of operation, the arc is transferred between the two active ring electrodes 102 and 118 at a high frequency and the control of the arc power is
15 effected by varying the ratio of the period during which the switch 113 remains closed to the period during which the switch 113 remains open. Using this type of control, for example, a feed-back control system to maintain the arc power at a required value can be built. Other types of feed-back
20 control schemes to suit the application can also be built.

It will be apparent from the foregoing description that a device according to this invention extends the effectiveness and possible use applications of electric arc devices.

25 Various alterations, modifications and/or additions may be introduced into the constructions and arrangements of parts previously described without departing from the spirit or ambit of the invention.

CLAIMS:

1. An electric arc generating device including, a first electrode, at least two further electrodes, supply means for connecting an electrical power source between said first electrode and any one or more of said further electrodes so as to cause an arc to be generated between said first electrode and a said further electrode, and control means which is operative to repetitively change the path of said arc between said first electrode and said further electrodes and thereby control the distribution of power within the arc zone, said control means including electrical means which imposes an electrical influence on said arc path.

2. A device according to claim 1, wherein said electrical means controls the potential for each further electrode to attract attachment of a root of the arc and thereby influence the arc path.

3. A device according to claim 1 or 2, wherein said control means includes flow regulating means which is operative to regulate the rate at which gas and/or feed material flows through or across the arc zone and thereby influence the extent of said arc path.

4. A device according to any preceding claim, wherein said electrical means includes switching means which is operable to disconnect a selected said further electrode from said power source, or to connect a selected said further electrode to said power source, and to thereby change said arc path.

5. A device according to any preceding claim, wherein said control means is operable to adjust the current supplied to a said further electrode by said power source.

6. A device according to claim 5, wherein said control

means is operable to selectively vary the current supplied to each said further electrode by said power source.

7. A device according to any preceding claim, wherein each said further electrode is of substantially annular form and is arranged substantially coaxial with each other said further electrode, and a feed passage extends axially through said further electrodes and also through said first electrode.

8. A device according to claim 7, wherein at least part of said first electrode is of conical form and that conical part protrudes into the central opening of the adjacent said further electrode.

9. A device according to any preceding claim, wherein said first electrode constitutes a cathode, and each said further electrode constitutes an anode.

10. A method of operating an electric arc generating device having a first electrode and at least two further electrodes, including the steps of connecting an electrical power source to said electrodes so as to cause an arc to be generated between the first electrode and one of said further electrodes, controlling the distribution of power within said arc by repetitively changing the path of said arc, and at least contributing to said control by repetitively modifying the influence of said power source on one or more of said further electrodes.

11. A method according to claim 10, wherein said control includes regulation of the rate of flow of gas or material through the zone of said arc.

12. A method according to claim 10 or 11, wherein said modification of the power source influence is effected at least in part by selectively disconnecting and reconnecting

one or more of "said" further electrodes from and to respectively said power source on a repetitive basis so as to cause attachment of said arc to move from one said switchable electrode to another.

5 13. A method according to claim 12, wherein the time of each said disconnection and reconnection respectively is varied so as to control the arc power.

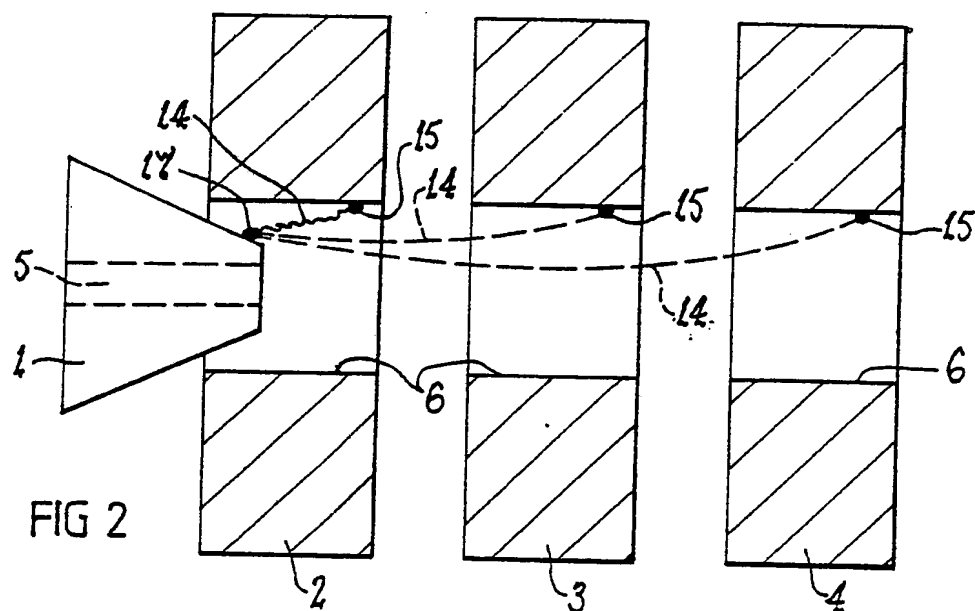
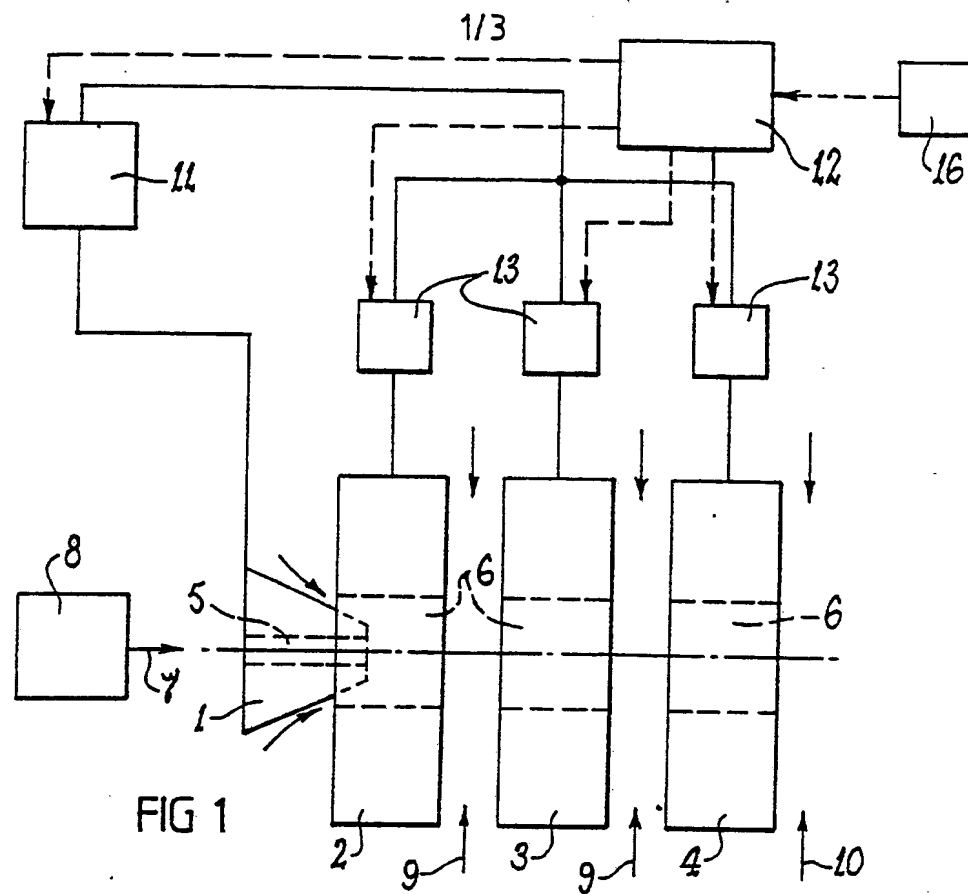
14. A method according to claim 13, wherein each period of time during which the arc remains attached to a said
10 switchable electrode is less than the thermal time constant of the arc plasma or the material to be treated.

15. A method according to any one of claims 10 to 14, wherein the level of the current supplied to at least one said switchable electrode is controlled so as to control the extent
15 and distribution of the arc power.

20

25

30



2/3

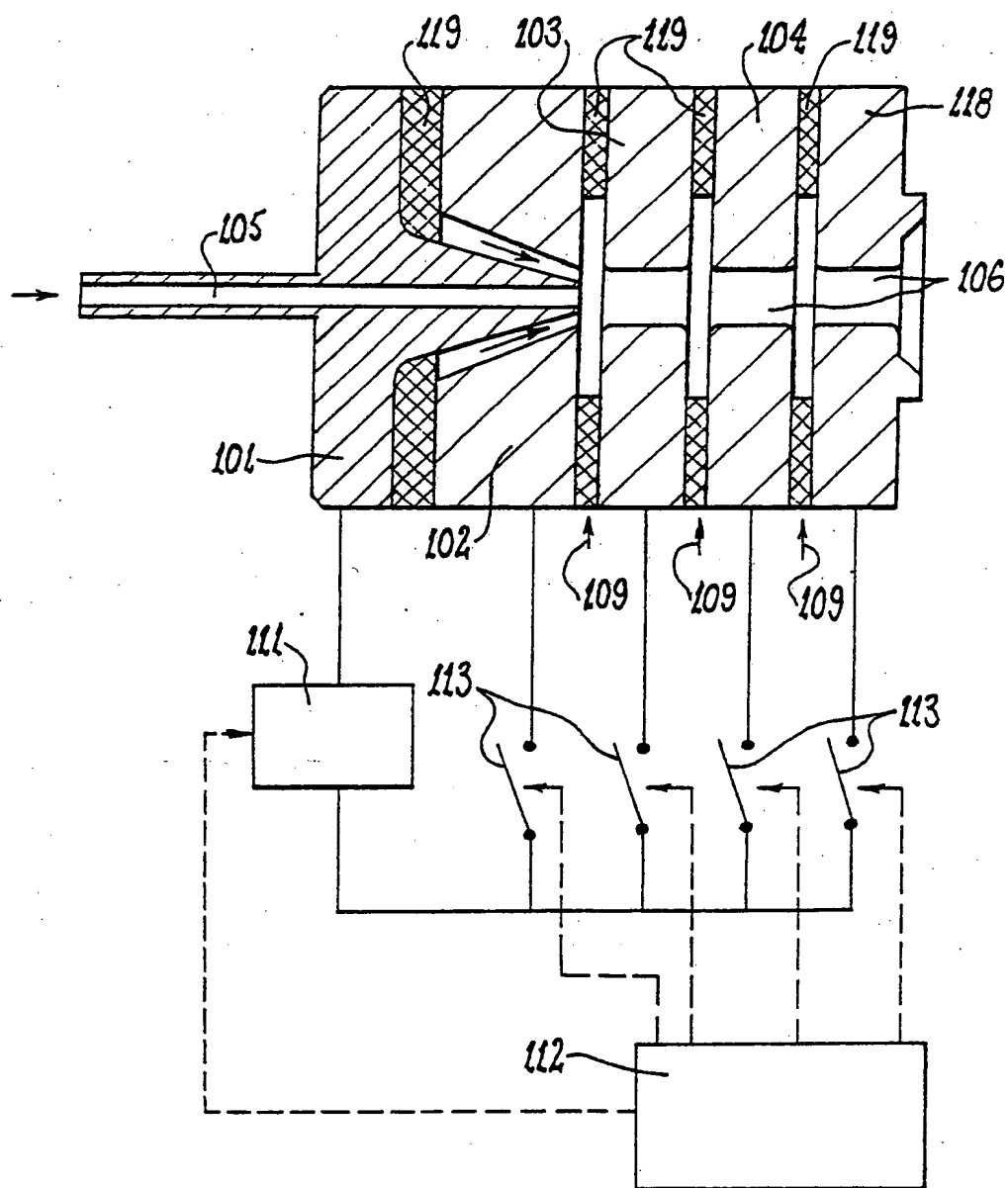
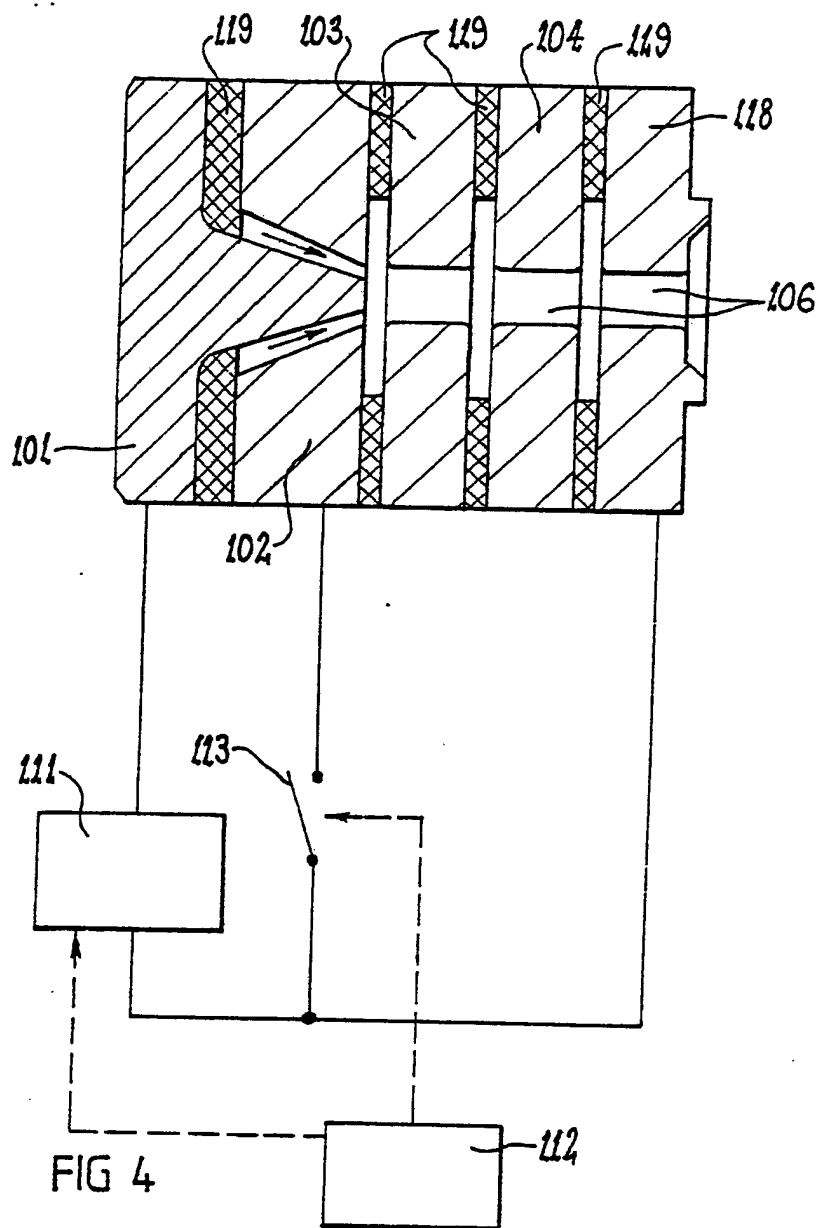


FIG 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No. PCT/AU 89/00396

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) 6

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC

Int. Cl.⁴ H05H 1/34, H05B 7/18

II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched 7

Classification System	Classification Symbols
IPC	H05H 1/26, 1/34, 1/36, H05B 7/18, 7/20, 7/22

Documentation Searched other than Minimum Documentation
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched 8

AU: IPC as above

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT 9

Category*	Citation of Document, with indication, where appropriate, of the relevant passages 12	Relevant to Claim No 13
X	FR,A, 2191394 (SOCIETE NATIONALE INDUSTRIELLE AEROSPATIALE) 1 February 1974 (01.02.74)	(1-4, 7-12)
X	US,A, 3309550 (WOLF et al) 14 March 1967 (14.03.67) (see col 6 lines 7-12, 24-26)	(1-4, 7, 9-12)
A	US,A, 3869593 (NEW et al) 4 March 1975 (04.03.75)	
A	US,A, 3863107 (MOGENSEN et al) 28 January 1975 (28.01.75)	
A	AU,B, 45413-72 (469712) (BRITISH TITAN LIMITED) 14 February 1974 (14.02.74)	

(continued....)

* Special categories of cited documents: 10

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the
International Search
27 November 1989 (27.11.89)Date of Mailing of this International
Search Report

6 December 1989

International Searching Authority

Signature of Authorized Officer

Australian Patent Office

W.J. MAJOR

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM THE SECOND SHEET

A	Derwent Soviet Inventions Illustrated, Vol W, No 36, Issued 14 October 1975, Nucleonics, Explosives, Protection; page 1, SU 458109 (Heat & Mass Exch. Ins.: Acad. Scie.) 6 March 1975 (06.03.75)
---	---

V. ☐ OBSERVATIONS WHERE CERTAIN CLAIMS WERE FOUND UNSEARCHABLE 1

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claim numbers , because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claim numbers , because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claim numbers , because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of PCT Rule 6.4 (a):

VI. ☐ OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION IS LACKING 2

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims of the international application.
2. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims of the international application for which fees were paid, specifically claims:

3. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claim numbers:

4. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, the International Searching Authority did not invite payment of any additional fee.

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT ON
INTERNATIONAL APPLICATION NO. PCT/AU 89/00396

This Annex lists the known "A" publication level patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report. The Australian Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent Document Cited in Search Report		Patent Family Members			
US	3869593	DE	2255483	GB	1360659
US	3863107	BE	801471	DE	2333251
		GB	1437976	JP	49055602
				FR	2191395
				NL	7308952
AU	45413/72	BE	789294	CA	954954
		FR	2158356	IT	965285
		NL	7213342	US	3828223
		GB	1373635	DE	2245540
				JP	48052653
				ZA	7205350

END OF ANNEX

THIS PAGE BLANK (USPTO)